Niveau(x) d'enseignement : ? Numéro EDUQ : 9370135
Centre d'intérêt : 842

Bourgault, Mariette

Le rôle des habiletés spatiales dans la réussite en physique au collégial : rapport de recherche / de Mariette Bourgault, Simon Larose, Denis Monaghan. -- Sainte-Foy : Cégep de Sainte-Foy, 1991
vii, 90, [38] p. : ill. ; 28 cm

"Cette recherche a été effectuée grâce à une subvention du Programme d'aide à la recherche sur l'enseignement et l'apprentissage de la Direction générale de l'enseignement collégial du Ministère de l'enseignement supérieur et de la science". Code : 1532-0299. Bibliogr. : p. 85-89.

ISBN 2-921299-00-3

Vedette(s)-secondaire(s) : Larose, Simon * Monaghan, Denis * Cégep de Sainte-Foy

Descripteur(s) : Physique * Rendement scolaire * Sciences * Echec scolaire * Abandon scolaire * Mathématiques * Instrument de mesure * Test d'aptitude * Prédiction du rendement scolaire * Statistiques * Collégial (Ordre d'enseignement)

Identificateur(s) de sujet : Habileté spatiale

Cette étude corrélationnelle a pour but de vérifier la relation entre la maîtrise de l'habileté spatiale et les facteurs suivants : l'expérience de la physique au collégial, la réussite des cours de physique au collège et d'autres variables non spatiales qui interviennent également dans la réussite. Deux cent vingt-neuf élèves de physique de première et deuxième année du Cégep de Sainte-Foy ont répondu à une série de questionnaires évaluant leurs habiletés spatiales pures et appliquées ainsi que d'autres habiletés. Ces mesures ont été mises en relation avec la note finale obtenue dans un cours régulier en physique. Les résultats suggèrent que les mathématiques et certaines habiletés spatiales appliquées prédisent l'échec ou la réussite en physique. Les principaux tests qui ont été utilisés pour la cueillette des données sont présentés dans les annexes (figures géométriques, habiletés perceptuelles, figures cachées, représentation mentale, mots-clés, mémorisation, perception de la compétence spatiale).

Type de document :

Le rôle des habiletés spatiales dans la réussite en physique au collégial

Mariette Bourgault
Simon Larose
Denis Monaghan

CÉGEP
DE
SAINTE-FOY

91-06

937 0135

LE RÔLE DES HABILETÉS SPATIALES DANS LA RÉUSSITE EN PHYSIQUE AU COLLÉGIAL

RAPPORT DE RECHERCHE

DE

MARIETTE BOURGAULT
SIMON LAROSE
DENIS MONAGHAN

CÉGEP DE SAINTE-FOY

Cette recherche a été effectuée grâce à une subvention du Programme d'aide à la recherche sur l'enseignement et l'apprentissage de la Direction Générale de l'enseignement collégial du Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science

On peut se procurer des copies de ce rapport
en s'adressant au

Cégep de Sainte-Foy
a/s de Mariette Bourgault, département de physique

2410, chemin Sainte-Foy
Sainte-Foy (Québec)
G1V 1T3

Prière d'inclure un chèque ou un mandat-poste
au montant de 12.00 $ par exemplaire demandé

Dépôt légal
Bibliothèque Nationale du Québec
Bibliothèque Nationale du Canada
1er trimestre 1991

ISBN 2-921299-00-3
© Cégep Sainte-Foy

code de diffusion: 1532-0299

Remerciements

Cette recherche n'aurait pas été possible sans la contribution de certaines personnes. Nous voulons d'abord remercier les professeur-e-s, le technicien et l'appariteur du département de physique qui ont participé à la mise en place du projet. Nous avons apprécié toute l'attention qu'ils ont pu nous accorder et nous leur en sommes fort reconnaissants.

Nous tenons à souligner l'étroite collaboration de Madame Marielle Thibault et de Messieurs André Auger, Robert Foy et Clermont Demers qui ont accepté de nous accorder du temps de classe pour recueillir des données de recherche.

C'est aussi grâce aux 229 élèves de sciences qui ont répondu avec beaucoup d'attention aux différents questionnaires que cette étude a pu être réalisée.

Enfin, nous sommes reconnaissants de la contribution financière de la direction des services pédagogiques du Cégep de Sainte-Foy: cette contribution aura permis de récompenser certains élèves et de rendre possible l'impression et la communication de ce rapport scientifique.

Monsieur Jacques Côté a également collaboré à améliorer le texte français en suggérant des corrections fort appropriées.

TABLE DES MATIERES

RÉSUMÉ 1

CHAPITRE 1 - CONTEXTE THÉORIQUE ET EXPÉRIMENTAL 2

1.1 Problème des échecs et des abandons en physique 2

1.2 Habiletés spatiales 5

1.3 Habileté spatiale et réussite en sciences 9

1.4 Habileté spatiale et réussite en biologie 10

1.5 Habileté spatiale et réussite en mathématiques 11

1.6 Habileté spatiale et réussite en chimie 15

1.7 Habileté spatiale et réussite en physique 17

1.8 Autres facteurs à considérer dans la réussite en physique 22

1.8.1 Acquis précollégiaux et collégiaux 22

1.8.2 Perception de sa compétence 23

1.8.3 Différences sexuelles dans les habiletés spatiales et les sciences. 23

1.9 Sommaire 25

1.10 Objectifs et Hypothèses 26

CHAPITRE 2 - MÉTHODOLOGIE 28

2.1 Population visée et échantillonnage 28

2.2 Instruments de mesure 29

2.2.1 Mesurer la capacité de comprendre et d'exécuter les principales tâches spatiales 29

2.2.1.1 Test de figures géométriques (F. G.) 30

2.2.1.2 Test d'habiletés perceptuelles (H. P.) 31

2.2.1.3 Test collectif des figures cachées (F. C.) 32

2.2.1.4 Test de représentation mentale en physique (R. M.) 32
2.2.2 Mesurer certaines variables qui peuvent influencer la relation entre la capacité spatiale et la réussite 37
2.2.2.1 Test des mots-clés (M.-C.) 37
2.2.2.2 Test de mémorisation (MÉMOR.) 38
2.2.2.3 Test de perception de la compétence spatiale (P.C.SP.) 39
2.2.2.4 Trois critères importants : expérience de la physique au secondaire, sexe de l'élève et résultat des mathématiques au secondaire 41
2.2.3 Mesurer la réussite en physique au collégial 42

2.3 Procédure 43

CHAPITRE 3 - RÉSULTATS 44

3.1 Relations entre les variables étudiées dans ce projet 44

3.2 Relation entre l'expérience de la physique au collégial et la maîtrise de l'habileté spatiale 47

3.3 Relation entre la réussite de la physique au collégial et la maîtrise de l'habileté spatiale 50
3.3.1 Variables associées à la réussite ou à l'échec en physique mécanique 51
3.3.1.1 Modèle de prédiction de la note finale en physique mécanique 55
3.3.1.2 Interprétation des résultats en physique mécanique 101 55
3.3.2 Relations entre les résultats en physique 201 et les variables étudiées 58
3.3.2.1 Modèle de prédiction de la note finale 62
3.3.2.2 Interprétation des résultats en physique 201 62
3.3.3 Relations entre les résultats en physique 301 et les variables étudiées 64
3.3.3.1 Modèle de prédiction de la note finale en 301 68
3.3.3.2 Interprétation des résultats en physique 301 68
3.3.4 Prédiction de la note finale en physique chez les élèves forts et les élèves faibles en mathématiques au secondaire 69

CHAPITRE 4 - DISCUSSION 71

4.1 Synthèse du contexte théorique 71

4.2 Expérience de la physique au collégial et maîtrise de l'habileté spatiale 72

4.3 Relation entre le rendement en physique et la maîtrise de l'habileté spatiale 74

4.3.1 Rendement en physique et mathématiques au secondaire 76

4.3.2 Examens et laboratoires en relation avec les habiletés spatiales 77

4.4 Rendement en physique et autres variables non spatiales 78

4.5 Synthèse des principaux facteurs qui favorisent la réussite en physique 80

4.6 Considérations méthodologiques 80

4.7 Recommandations 81

CONCLUSION 84

BIBILIOGRAPHIE 85

APPENDICES 90

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 ..... Pourcentage (%) d'élèves ayant réussi leurs cours dans différentes disciplines (données du Collège de Sainte-Foy, automne 88)

Tableau 2 ..... Échantillon étudié dans le cadre du projet

Tableau 3 ..... Matrice des corrélations entre les questions du test de représentation mentale appliquée à la physique

Tableau 4 ..... Corrélations entre les différents facteurs du test de représentation mentale (R.M.) appliquée à la physique

Tableau 5 ..... Description du test de représentation mentale appliquée à la physique

Tableau 6 ..... Analyse factorielle du test de la tendance à mémoriser

Tableau 7 ..... Analyse factorielle du test de compétence spatiale perçue (P.C.SP.)

Tableau 8 ..... Coefficients de consistance interne alpha des 4 facteurs retenus du test de compétence spatiale perçue

Tableau 9 ..... Les dimensions du P.C.SP.

Tableau 10 ..... Corrélations entre toutes les variables mesurées et les tests d'habiletés spatiales

Tableau 11 ..... Moyennes et écarts types aux tests d'habiletés spatiales pures en fonction des cours de physique déjà suivis au collégial

Tableau 12 ..... Moyennes et écarts types aux tests d'habiletés spatiales et appliquées (R.M.) en fonction des cours de physique déjà suivis au collégial

Tableau 13 ..... Moyennes et écarts types des résultats obtenus par les groupes d'élèves forts, faibles ou échouant le cours de physique 101, pour chacune des variables mesurées

Tableau 14 ..... Importance relative des variables étudiées dans la prédiction de la note finale en physique 101 (scores standardisés)

Tableau 15 ..... Moyennes et écarts types des résultats obtenus par les groupes d'élèves forts et faibles dans le cours de physique 201, pour chacune des variables étudiées

LISTE DES TABLEAUX (suite)

Tableau 16 ..... Importance relative des variables étudiées dans la prédiction de la note finale en physique 201

Tableau 17 ..... Moyennes et écarts types des résultats obtenus par les groupes d'élèves forts et faibles dans le cours de physique 301, pour chacune des variables étudiées

Tableau 18 ..... Importance relative des variables étudiées dans la prédiction de la note finale en physique 301

Tableau 19 ..... Importance relative des variables étudiées dans la prédiction de la note finale en physique pour les élèves forts en mathématiques au secondaire (notes standardisées)

Tableau 20 ..... Importance relative des variables étudiées dans la prédiction de la note finale en physique pour les élèves faibles en mathématiques au secondaire (notes standardisées)

LISTE DES FIGURES

Figure 1 ..... Modèle structuré des habiletés spatiales (Liben, 1981)

Figure 2 ..... Illustration du pourcentage de réussite des divers tests d'habiletés spatiales en fonction des cours déjà suivis en physique au collégial

Figure 3 ..... Illustration du pourcentage de réussite des divers tests d'habiletés spatiales appliquées en fonction des cours déjà suivis en physique au collégial

Figure 4 ..... Graphiques représentant les scores obtenus (en %) aux différents tests d'habiletés spatiales pures en fonction de la note finale en physique 101 pour les hommes et les femmes

Figure 5 ..... Graphiques représentant les scores obtenus (en %) aux différents tests d'habiletés spatiales appliquées en fonction de la note finale en physique 101 pour les hommes et les femmes

Figure 6 ..... Graphiques représentant les scores obtenus (en %) aux différents tests d'habiletés spatiales pures en fonction de la note finale en physique 201 pour les hommes et les femmes

Figure 7 ..... Graphiques représentant les scores obtenus (en %) aux différents tests d'habiletés spatiales appliquées en fonction de la note finale en physique 201 pour les hommes et les femmes

Figure 8 ..... Graphiques représentant les scores obtenus (en %) aux différents tests d'habiletés spatiales pures en fonction de la note finale en physique 301 pour les hommes et les femmes

Figure 9 ..... Graphiques représentant les scores obtenus (en %) aux différents tests d'habiletés spatiales appliquées en fonction de la note finale en physique 301 pour les hommes et les femmes

LISTE DES ENCADRÉS

Encadré 1 ..... Liste de quelques tâches spatiales générales

Encadré 2 ..... Exemple de résolution d'un problème de mathématiques selon deux approches : une première, logico-verbale et une deuxième plus spatiale (Tiré de Lean & Clements, 1981)

Encadré 3 ..... Liste des tâches spatiales inhérentes à la physique

RÉSUMÉ

Cette étude corrélationnelle a pour but de vérifier la relation entre la maîtrise de l'habileté spatiale et les facteurs suivants : l'expérience de la physique au collégial, la réussite des cours de physique au collège et d'autres variables non-spatiales qui interviennent également dans la réussite. Deux cent vingt-neuf (229) élèves de physique de première et deuxième année du collège de Sainte-Foy ont répondu à une série de questionnaires évaluant leurs habiletés spatiales pures et appliquées, ainsi que d'autres habiletés. Ces mesures ont été mises en relation avec la note finale obtenue dans un cours régulier en physique. Les résultats suggèrent que les mathématiques et certaines habiletés spatiales appliquées prédisent l'échec ou la réussite en physique.

CHAPITRE 1

CONTEXTE THÉORIQUE ET EXPÉRIMENTAL

Cette recherche a pour but d'explorer une nouvelle avenue concernant les causes d'échecs et d'abandons dans les cours de physique au collégial. La particularité de cette étude est de s'attarder à un facteur cognitif dont le rôle est méconnu dans l'apprentissage de la physique : l'habileté spatiale. Notre objectif principal est de vérifier la relation entre le rendement scolaire en physique et la maîtrise de certaines habiletés spatiales. Nous sommes aussi intéressés à vérifier les relations entre l'expérience de la physique au collégial et la maîtrise des habiletés spatiales. Enfin pour bien évaluer la place qu'occupent les habiletés spatiales en physique, il nous faudra mesurer les liens qu'elles entretiennent avec d'autres variables non-spatiales importantes.

Cette première partie du rapport fait d'abord état du problème de la réussite en physique et des approches privilégiées jusqu'à maintenant dans la recherche des causes d'échecs et d'abandons au collégial. Nous proposons ensuite une définition et une description de la variable principale de cette étude : l'habileté spatiale. Le contexte théorique et expérimental s'érige à partir de la revue de plusieurs études qui démontrent l'importance des habiletés spatiales dans le domaine des sciences. Le lecteur trouvera à la fin de ce chapitre les hypothèses de recherche articulées autour de nos objectifs.

1.1 Problème des échecs et des abandons en physique

Le problème du taux élevé d'échecs et d'abandons dans les cours de physique au collégial est une préoccupation pour plusieurs intervenants. Selon des données du SRAQ s'étalant de 1984 à 1989, les élèves de sciences pures et appliquées réussissent en moyenne 84% de leurs cours en première session, ce qui les classe avantageusement par rapport aux étudiants de sciences humaines qui eux réussissent seulement 77% de leurs cours. Cependant une analyse de chaque discipline nous montre que le pourcentage de réussite des cours de physique au Cégep de Sainte-Foy (1988-1989) se situe autour de 65% seulement. Mises à part les mathématiques avec ses 62% de réussite, la physique est la matière la plus difficile à réussir au Cégep de Sainte-Foy. À l'intérieur de cette discipline, ce sont les cours de physique 101 qui sont les plus échoués ou abandonnés. À la session d'hiver 89, le taux de réussite en physique mécanique (203-101-77) n'était que de 58,6%, deux

étudiants sur cinq ayant donc échoué ou abandonné leur cours. Le tableau 1 illustre les taux de réussite dans quelques disciplines de niveau collégial.

TABLEAU 1

Pourcentage (%) d'élèves ayant réussi leurs cours dans différentes disciplines (données du Collège de Sainte-Foy, automme 88.)

Discipline	Réussite
Arts	88,27 %
Psychologie	85,42 %
Philosophie	84,69 %
Biologie	84,62 %
Français	79,89 %
Géographie	76,99 %
Chimie	72,17 %
Physique	64,63 %
Mathématiques	61,96 %

Au fil des ans et des recherches, plusieurs facteurs ont été proposés pour expliquer le fort taux d'échecs et d'abandons des études collégiales. Plusieurs auteurs suggèrent l'existence d'une relation entre les *acquis précollégiaux* et la réussite à la première session. Ces acquis peuvent être de nature intellectuelle, scolaire ou personnelle. Les aptitudes verbales et numériques ainsi que le niveau de développement cognitif font partie des variables intellectuelles intervenantes (Torkia-Lagacé, 1981; Hess, Grafton et Michael, 1983). Les cours suivis et les notes obtenues au secondaire sont souvent de bons indicateurs scolaires de la réussite au collégial (Conseil des collèges, 1988 ; Beauchamp, 1988). Dans la catégorie des acquis personnels, des études proposent l'intervention de facteurs tels que la précision des buts et des aspirations vocationnels (Watkins, 1986), les habiletés interpersonnelles (Falardeau, Larose et Roy, 1988) et la maîtrise des méthodes d'étude (Blouin, 1986).

La *perception* qu'a l'élève de ses propres compétences (White et Sedlacek, 1986) est un autre indicateur important de son rendement futur. Bandura (1977) suggère que l'efficacité personnelle est un indicateur du comportement beaucoup plus puissant que le rendement antécédent. La perception des exigences du milieu institutionnel est aussi importante (Lavoie, 1988). Il est vrai que

lorsque l'élève perçoit son nouveau milieu comme compétitif, impersonnel ou inaccessible, il existe de fortes chances que cela ait un impact négatif sur sa réussite en première session (Pascarella, 1984).

Les perceptions de soi et du milieu d'intégration viennent donner un sens aux *premières expériences* de l'élève au collège. Il est facile de concevoir que l'échec à un premier examen peut entraîner des échecs ultérieurs ou des abandons dans le cas de l'étudiant qui, au départ, a une perception négative de soi ou de son milieu. Par contre l'étudiant déterminé, confiant dans ses moyens et qui aime le Cégep sera plus apte à fournir les efforts nécessaires qui le mèneront vers la réussite. Les expériences interpersonnelles sont aussi déterminantes. à la première session, la fréquence et la qualité des contacts entre un élève, ses pairs et ses professeurs viendraient augmenter ses chances de réussite (Terenzini et Wright, 1987 ; Waldo, 1986).

Ces facteurs contribuent donc à expliquer les échecs et les abandons pour l'ensemble de la population collégiale. Par contre, pour bien comprendre les difficultés liées à la réussite d'un cours particulier, il est nécessaire d'explorer des variables plus spécifiques.

Le problème des échecs et des abandons se manifeste de façon plus importante en physique que dans d'autres disciplines (voir le tableau 1), cela malgré le fait que les cours de physique soient suivis par les étudiants ayant les plus fortes notes scolaires au secondaire. On devrait s'attendre normalement à ce que les étudiants inscrits dans les classes de physique possèdent les acquis intellectuels, scolaires et personnels nécessaires à la réussite. Pourtant le taux élevé d'échecs et d'abandons nous amène à croire que la physique est une matière qui requiert plus que ces habiletés générales. Il n'est pas suffisant de dire que la physique est une matière plus difficile que les autres, il faut plutôt tenter de comprendre ce qui la rend plus difficile. La réussite en physique nécessite possiblement des aptitudes ou des habiletés particulières qui ne font pas partie du bagage de tous les élèves à leur entrée au niveau collégial. L'aptitude en mathématiques est possiblement une variable à considérer dans la réussite d'un cours de physique. D'ailleurs deux professeurs du Cégep de Sainte-Foy, Maurice Côté et Louis Rodrigue, ont conçu un test diagnostic pour les nouveaux élèves inscrits en sciences : cet instrument évalue entre autres certaines connaissances de base en mathématiques. Mais là encore, les habiletés mathématiques ne sont pas suffisantes pour garantir le succès en physique (Hudson et McIntire, 1977). Les cours de mathématiques étant eux-mêmes difficiles à réussir, n'y aurait-il pas un facteur commun, une habileté mentale spéciale qui contribuerait significativement au rendement en sciences ?

1.2 Habiletés spatiales

Nous émettons l'hypothèse que la compréhension de certains concepts de physique est facilitée par l'utilisation d'une catégorie d'habiletés intellectuelles spécifiques appelées *habiletés spatiales*. Ces habiletés réfèrent à des comportements réels ou imaginaires associés à des manipulations d'objets dans un espace à deux ou trois dimensions.

Le concept d'habileté spatiale comme aptitude intellectuelle importante est issu des premières analyses des tests d'intelligence. Dès 1928, Kelley démontrait l'existence d'un facteur spatial différent du facteur verbal. L'habileté spatiale fut alors associée à la manipulation mentale de formes. Thurnstone (1938) procéda à l'analyse factorielle d'une batterie de 56 tests d'intelligence et conclut à la présence d'un facteur "espace" correspondant à la capacité de travailler avec l'imagerie spatiale ou visuelle. Les études subséquentes continuèrent à alimenter la dissociation entre le facteur verbal,utilisation du langage et le facteur spatial, utilisation de l'espace (Burt,1949, Vernon, 1950, French, 1951 dans McGee, 1979 ; Lohman, 1988). L'habileté spatiale est désormais considérée comme une aptitude mentale supérieure (Nyborg, 1983).

Liben (1981) propose un modèle intéressant qui structure les différents aspects de l'habileté spatiale (figure 1). Selon ce modèle, l'habileté spatiale se manifeste à travers trois fonctions différentes (l'emmagasinage, les opérations et les produits) et s'exerce sur deux types de contenus différents (concret et abstrait).

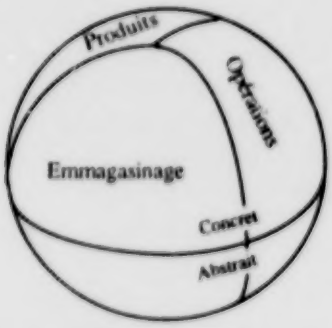


FIGURE 1. Modèle structuré des habiletés spatiales (Liben,1981)[1]

1 Liben L. S., Patterson & Newcomb, *Spatial Representation and Behavior Across the Life Span*, Ed. Academic Press, 1981.

La première de ces fonctions est l'*emmagasinage spatial* qui correspond à l'aspect statique de l'habileté spatiale. S'il est facile d'observer le comportement d'un élève dans l'espace physique qui l'entoure, il est cependant beaucoup plus difficile de comprendre la façon dont il se représente les objets dans l'espace et si cette conceptualisation correspond bien à celle qu'on attend de lui. Par exemple, on pourrait être intéressé à savoir comment un élève en astronomie s'imagine la position des planètes par rapport au soleil ou comment un étudiant en physique se représente la notion de champ magnétique. Dans un tel cas, nous nous arrêtons à l'aspect statique de la pensée spatiale (Eliot et Hauptman, 1981), c'est-à -dire à la structure interne de l'information. Cette structure ou cette façon d'emmagasiner les concepts peut différer d'un individu à l'autre. L'élève enregistre selon un mode de représentation spatial s'il se crée une image mentale plus ou moins riche des différentes notions. Dans le cas du champ magnétique, cela pourrait être un tracé des lignes de champ que le professeur aura présenté en classe ; le concept pourrait être enrichi du souvenir de la disposition de la limaille de fer soumise au champ d'un aimant. Ce mode de représentation spatial s'oppose au mode verbal et mathématique. L'enregistrement de l'information sous forme de définitions ou de formules mathématiques à retenir constitue une façon différente de se représenter les concepts. Ces façons d'emmagasiner mentalement sont distinctes mais souvent complémentaires.

Le modèle de Liben tient compte aussi de deux autres dimensions plus dynamiques de l'habileté spatiale: les *opérations spatiales* et les *produits spatiaux*.

Si nous demandons à l'élève en astronomie de s'imaginer à bord d'un vaisseau spatial qui voyage et subit les forces d'attraction des planètes ou à un étudiant en optique d'anticiper l'image formée par une lentille, nous faisons appel à un ensemble d'opérations mentales sur des données spatiales ou visuelles. Sous l'effet d'opérations, les images se transforment, changent d'orientation ou de position relative. Cette seconde composante du modèle, les *opérations spatiales*, réfère donc à l'utilisation de l'espace, à la manipulation mentale d'objets et de repères, donc à la capacité de résoudre des problèmes.

Le professeur peut aussi demander à l'élève de schématiser des situations physiques ou de fabriquer des graphiques pour illustrer sa pensée. Dans un tel cas le sujet exerce alors son habileté spatiale sous forme de *produits spatiaux*. Les produits spatiaux sont des comportements observables du sujet qui traduisent sa représentation spatiale des phénomènes. La fabrication de cartes, de modèles, de graphiques et même des descriptions verbales de relations spatiales sont autant de formes différentes de produits spatiaux.

Toujours selon le modèle de Liben, la pensée spatiale, qu'elle soit statique ou dynamique, peut s'exercer à travers deux types de contenus différents. D'une part, il y a les *contenus concrets* tels que l'espace qui nous entoure ou le matériel de laboratoire servant à illustrer une notion de physique. D'autre part, la pensée peut aussi s'exécuter à partir d'abstractions qui ne font pas appel à des choses présentes dans l'environnement immédiat du sujet. Pour illustrer la différence dans les contenus, imaginons que nous ayons à nous orienter en forêt. Nous utilisons des contenus concrets si nous portons attention à des indices comme la position du soleil ou les rivières qui bordent notre chemin. Nous fonctionnons à partir d'un *contenu abstrait* si nous nous fions essentiellement à une carte de la région. Le domaine des sciences pour sa part fait couramment appel à des contenus abstraits.

La plupart des tests d'intelligence traditionnels font appel à des opérations. En effet les sujets doivent exécuter certaines opérations sur des contenus visuels. À partir de l'examen de ces tests, la littérature propose quelques classifications des habiletés spatiales en fonction de la nature de la tâche à exécuter. La catégorisation la plus usuelle est la dissociation entre les facteurs de visualisation et d'orientation (McGee, 1979). Les tâches de visualisation seraient complexes car elles requierraient plusieurs opérations mentales telles des rotations ou des réflexions d'objets. L'orientation spatiale serait l'habileté à imaginer comment apparaîtra un objet s'il est regardé d'un autre point de vue (Lohman, 1988). Il existe cependant d'autres classifications (Guay et McDaniel, 1977; Eliot, 1980 ; Piemonte, 1982) dont le rationnel apparaît aussi bien fondé. De plus les définitions de la visualisation et de l'orientation varient beaucoup d'un auteur à l'autre à tel point qu'il est difficile d'en tirer des constantes (Voir: Guilford et Lacey, 1947 ; Thurnstone, 1950 ; French, 1951 ; Ekstrom, 1976 ; McGee 1979 ; Harris, 1981 ; Nyborg, 1983 ; Yates, 1986 ; Carter, 1987 ; Lohman, 1988). Enfin, les fortes corrélations constamment mesurées entre ces deux facteurs incitent à la prudence. Il semble donc plus adéquat de parler tout simplement de tâches spatiales différentes que de s'enfermer dans des catégories limitatives.

L'encadré 1 présente une liste de tâches spatiales relevées dans la littérature. Il ne s'agit pas ici d'une liste exhaustive mais plutôt d'un relevé des tâches les plus couramment utilisées dans la mesure des habiletés spatiales. Certaines de ces tâches exigent un produit spatial mais la plupart ne font appel qu'à des opérations spatiales car le sujet n'a qu'à choisir une bonne réponse parmi plusieurs suggérées.

ENCADRÉ 1: Liste de quelques tâches spatiales générales[2]

a- Les figures imbriquées ou cachées : identifier les contours d'une figure-cible simple qui est incluse à l'intérieur d'une figure plus complexe. Il s'agit d'une tâche d'analyse de détails visuels.

b- Les combinaisons de figures : combiner mentalement les parties d'une figure pour former une figure entière. Les jeux de casse-tête en sont des exemples.

c- La rotation de figures planes : évaluer si la figure présentée correspond à une figure de référence dont on aurait changé l'orientation. Ces figures peuvent être des représentations en deux dimensions d'objets tri-dimensionnels.

d- Les dessins avec blocs : reproduire avec des blocs coloriés des modèles en deux dimensions.

e- Le pliage de papier : des dessins successifs du pliage d'une feuille de papier sont présentés, le dernier des dessins porte une marque et le sujet doit dire à quel endroit se retrouvera cette marque sur la feuille de papier qui aura été dépliée.

f- Le développement de surface : imaginer ce que donnera en trois dimensions un certain patron qu'il faut replier.

g- La perspective : établir des liens de similitude entre divers objets tridimensionnels présentés selon différents points de vue.

h- Le sens de la direction : pointer vers des cibles invisibles.

i- Le sens de la mécanique : démontrer sa compréhension de mécanismes simples, ou de situations familières dans lesquelles certaines lois physiques sont en jeu.

j- Le dessin ou le schéma : dessiner des formes solides dans différentes positions.

k- La lecture de cartes géographiques : déterminer sa position ou celle d'objets à partir de cartes.

l- La lecture, l'interprétation et la production de graphiques.

m- La construction d'objets tridimensionnels à partir de plans.

n- Localisation d'un point dans l'espace : situer un point sur un graphique connaissant ses coordonnées.

o- Les tâches combinées : ce sont des tâches qui font appel en même temps à deux ou plusieurs tâches préalablement citées.

---

[2] La liste est constituée de tâches relevées principalement dans les travaux de Bishop, 1978, Eliot, 1980 et Harris, 1981.

1.3 Habileté spatiale et réussite en sciences

Depuis la reconnaissance de l'habileté spatiale comme facteur important de l'intelligence quelques chercheurs se sont intéressés à la relation entre ce facteur et les différents domaines de travail et d'étude. McGee (1979) rapporte que dès 1957 le Service d'Emploi des États-Unis dressait une liste des spécialisations requérant un haut niveau d'habileté spatiale. Ces domaines sont : le génie, les sciences, le dessin et le "design". Ce même auteur ajoute à cette liste le domaine de l'architecture qui emprunte à la fois au génie et au dessin. Le test des Cubes de Thurnstone est étroitement corrélé (0,49) avec la qualité du travail individuel chez les architectes. D'autres corrélations importantes ont aussi été enregistrées avec la mécanique (Nyborg, 1983) et les arts en général (Siemankowski et MacKnight, 1971).

Les relations entre les tâches spatiales et certaines disciplines scolaires ont aussi été explorées. Les disciplines scientifiques sont en tête du peloton des corrélations positives. Les mathématiques, la biologie, la géologie, la géographie, la chimie et la physique font toutes appel aux habiletés spatiales (Harris, 1981 ; Eliot et Hauptman, 1981 ; Nyborg, 1983 ; Lohman, 1988). Une étude réalisée au State University College de 1966 à 1970 montre que les étudiants en sciences ont des habiletés spatiales plus élevées que les étudiants qui ne sont pas en sciences. L'instrument utilisé (*Survey of Object Visualisation)* conserve un coefficient de corrélation de 0,51 avec la réussite en sciences mesurée sur une période de 3 ans (Siemankowski et MacKnight, 1971)

Le lien entre les habiletés spatiales et les sciences s'explique par le fait que ces disciplines utilisent couramment des représentations graphiques de toutes sortes pour acheminer l'information spatiale. Les étudiants sont soumis à des diagrammes, des cartes, des figures, des schémas et des dessins scientifiques ou techniques. Il s'agit souvent de représentations en deux dimensions de modèles tridimensionnels ou de représentions planes de paysages comme sur les cartes topographiques. La conceptualisation des 3 dimensions est nécessaire pour la compréhension, v.g., de la transmission ondulatoire de l'énergie, des liaisons chimiques, des champs de forces, de la structure de l'atome, des figures de diffraction des rayons X, des divisions cellulaires, de la structure de l'ADN, des déplacements des couches terrestres et de plusieurs autres concepts et phénomènes liés aux sciences. La conceptualisation tridimensionnelle est essentielle dans la compréhension de principes scientifiques aussi simples que la circulation sanguine jusqu'aux complexités de la mécanique quantique.

Le professeur qui élabore un bon diagramme croit qu'il peut ainsi enseigner efficacement un principe scientifique puisqu'il ajoute l'illustration à l'explication verbale. Toutefois, il ne réalise pas que ses diagrammes ou ses dessins signifient très peu de chose pour plusieurs étudiants. Ces

étudiants ne sont pas stupides et ne manquent pas de motivation à réussir en sciences mais ils ne peuvent tout simplement pas reconstruire mentalement des modèles tridimensionnels présentés en deux dimensions. Ils ont donc de la difficulté avec l'interprétation des graphiques, des cartes et des modèles. Selon Bishop (1978), la compréhension d'un graphique nécessite trois habiletés : premièrement, il est essentiel que chacune des valeurs exprimées par le graphique (position, vitesse, amplitude, etc.) soit déjà bien assimilée par l'élève ; il faut ensuite une habileté de mesure, i.e., une notion du fonctionnement des différentes échelles de mesure utilisées ; enfin, la lecture de graphiques implique aussi la capacité de manipuler mentalement deux variables à la fois, et c'est là que se manifestent les opérations spatiales. Ce manque d'habileté spatiale pourrait donc expliquer la peur et le dégoût de la science ressentis par plusieurs étudiants.

Les habiletés spatiales jouent aussi un rôle important dans la résolution de problèmes. Par exemple, en sciences naturelles, les problèmes sont caractérisés par des observations souvent indirectes et incomplètes de systèmes complexes. La visualisation s'avère un atout important pour agencer ces différentes données dans un ensemble cohérent et compréhensible. Certains auteurs préconisent la méthode de "schématisation des concepts" pour améliorer le rendement des étudiants de sciences dans la résolution de problèmes. Globalement, la méthode consiste à créer sur papier des représentations visuelles des concepts associés à un problème tout en spécifiant les liens qu'ils entretiennent entre eux à l'aide d'un support visuel (flèches, encadrés, couleurs, etc.). La schématisation des concepts permet d'organiser les éléments d'un problème et améliore le rendement des élèves (Novak , 1977 et 1989 dans Ault, 1989). Ault (1989) affirme aussi : "Les enseignants en sciences naturelles croient fermement que la dimension visuelle est essentielle si on veut que la science ait un sens et devienne utile pour la résolution de problèmes concrets....Les professeurs s'entendent pour dire que les élèves doivent développer des habiletés de visualisation pour résoudre des problèmes de sciences naturelles."

1.4 Habileté spatiale et réussite en biologie

La biologie est l'une des sciences où les habiletés spatiales semblent jouer un rôle important. Une étude classique de Roe (1952), qui fit passer une série de tests à 64 scientifiques américains réputés, nous dévoile que les biologistes et les physiciens expérimentaux se servent beaucoup de l'imagerie visuelle pour exprimer leur pensée ; ils utilisent plus souvent que les autres scientifiques des objets concrets ou des diagrammes élaborés. Plus récemment, Lord (1987) nous présente une étude réalisée dans un collège américain pour vérifier si les étudiants ayant de faibles habiletés spatiales prennent plus de temps à assimiler les notions de biologie que leurs confrères possédant des habiletés spatiales supérieures. La compétence spatiale des élèves est évaluée à l'aide des tâches

suivantes : la comparaison de cubes, le pliage de papier et les figures cachées. Les étudiants classés forts dans ces habiletés réussissent significativement mieux leurs examens de biologie que les étudiants moyens, ces derniers obtenant des notes plus élevées que les étudiants faibles dans ces habiletés. Smith (1989) rapporte également que l'indépendance de champ, mesurée par le test des figures cachées, est en forte corrélation avec la réussite de problèmes de biologie chez des élèves du secondaire.

1.5 Habileté spatiale et réussite en mathématiques

Le champ des mathématiques semble être le terrain privilégié des études portant sur le rôle des habiletés spatiales, possiblement parce que les mathématiques sont considérées par plusieurs comme la base sur laquelle s'élabore la compétence en sciences. De nombreuses études soulignent l'apport important des habiletés spatiales dans ce domaine.

Il faut d'abord citer les études corrélationnelles qui ont mis en valeur les tests spatiaux (McGee, 1979). Guilford et Lacey (1947) prétendent que les tests d'orientation et de visualisation spatiale sont parmi les meilleurs indicateurs des résultats en mathématiques, les coefficients de validité étant supérieurs aux tests d'habileté verbale. Dans la même veine, Hills (1957) obtient les corrélations suivantes avec la réussite en mathématiques au collège : visualisation 0,23, orientation 0,22 et raisonnement verbal 0,06. Bennet (1974) a obtenu une corrélation plus élevée (0,57) entre un sous-test spatial d'intelligence et la performance en géométrie.

De jeunes élèves du primaire aussi bien que des universitaires ont servi de sujets pour des études expérimentales en mathématiques. Guay et McDaniel (1977) évaluent les habiletés spatiales chez des élèves du primaire de la 2^{e} à la 7^{e} année. Ils mesurent ensuite chez ces étudiants les habiletés de base en mathématiques et divisent les forts et les faibles en mathématiques en deux groupes distincts. Ils s'aperçoivent ainsi que le groupe des forts possède des habiletés spatiales plus développées que le groupe des faibles. De même, à l'échelon universitaire, une autre étude de comparaison de groupes (Eisenberg et McGinty, 1977) démontre que les habiletés spatiales sont plus élevées chez ceux qui suivent un cours de calcul avancé que chez ceux qui doivent faire un cours de rattrapage en mathématiques.

Parmi les études les plus intéressantes, citons celle d'Ethington et Wolfle (1984). Ces auteurs procèdent à l'évaluation d'un modèle causal et complexe de la réussite en mathématiques. Le modèle est validé à partir d'une banque de données appartenant à plus de 13,000 sujets de niveau collégial américain. Les auteurs évaluent la contribution de nombreuses variables telles le

sexe, le degré de scolarité des parents, la visualisation spatiale, l'habileté perceptuelle, les résultats scolaires antérieurs pour l'ensemble du secondaire et plus particulièrement en mathématiques, les attitudes envers les mathématiques et la nature des cours suivis jusque-là en mathématiques. Ces antécédents en mathématiques s'avèrent de loin le facteur le plus important pour prédire la réussite dans des cours subséquents ; plus le nombre de cours suivis au secondaire est grand plus la performance au collégial va augmenter. Cependant le facteur de visualisation spatiale est le deuxième en importance ; il est un meilleur indicateur de la réussite que les notes scolaires obtenues au secondaire en mathématiques.

L'habileté spatiale est liée à la réussite en mathématiques car certains contenus font directement appel à ces opérations. Piemonte (1982) avance que la compréhension des nombres complexes, des vecteurs, aussi bien que la construction de graphiques, sont appris en partie par des processus de conceptualisation visuelle. La compréhension de l'espace en 2 ou 3 dimensions est un atout pour comprendre la géométrie. Donnons comme exemple toutes les transformations géométriques telles les translations, réflexions, rotations et dilatations. Les élèves doués au niveau spatial sont aussi de bons étudiants en trigonométrie. Ces mêmes élèves ont par exemple de la facilité à visualiser les amplitudes et les fréquences modulatoires et à comprendre leurs changements sur un graphique. Selon cet auteur, il y aurait trois façons de traiter une information mathématique: par un processus analytique utilisant des stratégies de logique verbale, par un processus géométrique utilisant des méthodes schématiques et visuelles et par un processus harmonique qui combine les deux premiers. Les tâches qui traitent le matériel à 2 dimensions ou à 3 dimensions sont autant l'une que l'autre reliées à la performance en mathématiques.

Les études citées précédemment révèlent un lien entre la performance dans les tâches spatiales et le rendement en mathématiques mais une recherche longitudinale de Sherman (1983) nous invite à circonscrire l'effet de l'habileté spatiale. En effet, l'étude cherche à déterminer les facteurs mesurés en 8^{e} année qui sont susceptibles de prédire l'inscription à des cours de mathématiques dans les années suivantes, ce jusqu'en 11^{e} année. La chercheuse fait passer des tests à 337 jeunes, garçons et filles de 8^{e} année et examine le dossier scolaire de ces mêmes étudiants lorsqu'ils sont en 11^{e} année. Elle s'attarde au nombre de cours suivis en mathématiques durant toutes ces années. Les facteurs mesurés en 8^{e} année sont les suivants: la maîtrise des concepts de base en mathématiques, l'aptitude en vocabulaire, l'habileté spatiale et différentes attitudes envers les mathématiques. Une de ces attitudes est en étroite corrélation avec la persévérance en mathématiques. Il s'agit du facteur de confiance dans sa capacité d'apprendre les mathématiques. Les étudiants qui croient posséder les capacités nécessaires pour réussir en mathématiques sont ceux qui s'inscrivent à un plus grand nombre de cours en mathématiques dans les années subséquentes. Le vocabulaire, une aptitude

verbale, est le second facteur par ordre d'importance. Le facteur de visualisation spatiale a un effet négligeable. Cependant, il est meilleur indicateur de la persévérance pour les femmes que pour les hommes. Pour bien interpréter ces résultats, il faut comprendre que cette étude ne porte pas sur la réussite des cours de mathématiques mais bien sur la persévérance à suivre des cours de mathématiques.

Mais même la réussite en mathématiques n'est pas forcément liée à la maîtrise des habiletés spatiales. Une étude de Battista, Talsman et Wheatley (1982) conclut que le niveau de développement cognitif de leurs sujets est un meilleur indicateur de la réussite en géométrie que les habiletés spatiales. La relation entre le test de développement cognitif et le test de visualisation spatiale s'est avérée plutôt faible. Selon eux, l'habileté spatiale semble requise pour comprendre certaines idées présentées mais il est aussi possible de fournir des explications non-spatiales pour ces mêmes idées. Les auteurs font aussi remarquer que les thèmes abordés dans les examens étaient plutôt de nature verbo-analytique que spatiale.

Cette distinction fondamentale entre une approche logico-verbale ou analytique et une approche plus spatiale des mathématiques a été mise en évidence par deux chercheurs de la Nouvelle-Guinée (Lean et Clements, 1981). Ils ont utilisé un instrument qui leur permet d'évaluer l'approche privilégiée par les étudiants dans leur résolution de problèmes mathématiques (voir encadré 2).

Lean et Clements évaluent la performance en mathématiques à l'aide de deux épreuves: la première contient des problèmes de mathématiques pures et la deuxième, des problèmes de mathématiques appliqués qui sont liés à la physique mécanique élémentaire. Ils obtiennent des résultats étonnants lorsqu'ils mettent en corrélation les habiletés spatiales des étudiants, leur approche de résolution de problèmes et les épreuves de mathématiques. L'habileté spatiale et la connaissance des conventions spatiales n'ont qu'une faible influence sur le succès en mathématiques des élèves. Le facteur propre aux épreuves mathématiques et celui propre aux tests spatiaux sont différents. Les étudiants qui privilégient l'approche logico-verbale obtiennent des résultats supérieurs dans les deux épreuves de mathématiques. Cette variable est même un meilleur indicateur de la réussite que les tests spatiaux conventionnels. En fait, les sujets les plus forts dans les habiletés spatiales ont tendance à négliger l'approche spatiale et utilisent de préférence l'approche logico-verbale qui semble plus appropriée pour solutionner les problèmes de mathématiques pures.

ENCADRÉ 2: Exemple de résolution d'un problème de mathématiques selon deux approches : une première, logico-verbale et une deuxième plus spatiale. (Tiré de Lean & Clements, 1981)[3] .

Problème: Dans une épreuve de piste et pelouse, Jean devance Pierre de 10 m. Tom est à 4 m devant Martin, et Martin à 3 m devant Pierre. De combien de mètres Jean devance-t-il Tom?

Solution logico-verbale

Jean 10 m de Pierre
Tom 4 m de Martin
Martin 3 m de Pierre

Distance entre Jean et Tom ?

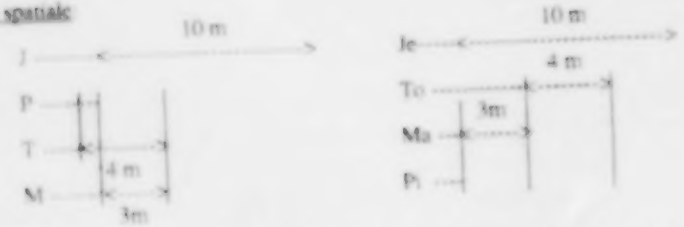
Jean Pierre Jean - Pierre
10 m à 0m => 10 - 0 = 10m

Mart. Pierre Jean - Mart.
3m à 0m => 10 - 3 = 7m

Tom à 4 m de Mart => (10 - 3) - 4 = 3m entre Jean et Tom.

Rep. : 3 mètres

Solution spatiale



Si Martin est à 3 m devant Pierre alors Tom est à 7 m devant Pierre, et si Jean est à 10 m devant Pierre alors Jean est à 3 m de Tom.

Selon les auteurs, l'incohérence apparente entre la maîtrise des habiletés spatiales et la préférence pour un mode opposé de résolution de problèmes peut s'expliquer par le fait que les épreuves utilisées sont relativement simples et familières, ce qui n'était pas le cas dans d'autres

[3] Lean G. & Clements M. A., Spatial Ability, Visual Imagery, and Mathematical Performance, in *Educational Studies in Mathematics*, 1981.

études (Moses, 1977, 1980, et Webb, 1979 dans Lean et Clements, 1981). Il est probable que les problèmes familiers ou de routine soient résolus plus efficacement par une approche logico-verbale et les problèmes non-routiniers par une approche plus spatiale. L'analyse des résultats de Lean et Clements doit aussi tenir compte du sexe des sujets. En effet, 114 des 116 sujets de Lean et Clements étaient de sexe masculin. Or l'étude de Sherman (1979) (voir Lean & Clements, 1981) souligne que les habiletés spatiales sont de meilleurs indicateurs pour les femmes que pour les hommes.

Ces dernières analyses nous montrent que le lien entre les habiletés spatiales et la réussite en mathématiques n'est pas forcément toujours présent. Par contre certains types de problèmes semblent faire appel à des opérations spatiales (Piemonte, 1982 ; Battista, Talsman et Wheatley, 1982 ; Lean et Clements, 1981).

1.6 Habileté spatiale et réussite en chimie

La chimie est une autre science qui demande des habiletés spatiales. Par exemple, la représentation mentale des structures moléculaires est intimement liée à la pensée spatiale ; elle utilise la rotation mentale et nécessite un arrangement de plusieurs composantes (molécules) dans un seul modèle (Eliot et Hauptman, 1981). Des chercheurs ont même tenté d'expliquer les processus spécifiques en jeu dans la rotation mentale de modèles s'apparentant aux structures moléculaires (Seddon, Eniaiyeju et Jusoh, 1984).

Deux études très similaires montrent l'effet du développement des habiletés spatiales sur la réussite d'un cours de chimie de niveau universitaire (Talley, 1978 ; Small et Morton, 1983). Dans les deux cas, les élèves en chimie sont divisés en deux groupes de sujets équivalents au niveau des habiletés spatiales et des compétences en mathématiques : groupe contrôle et groupe expérimental. Dans un cas, les élèves du groupe expérimental participent à un cours visant le développement de certaines habiletés spatiales (Talley, 1978) et dans l'autre étude les élèves travaillent à partir de cahiers d'exercices (Small et Morton, 1983). Dans les deux études, les sujets du groupe expérimental ont mieux réussi leur cours de chimie que les sujets du groupe contrôle. Cependant les différences de performance ont été enregistrées sur certains types de questions uniquement. Small et Morton montrent que la performance augmente seulement dans les questions qui sont jugées à contenu spatial par le professeur. Talley pour sa part note que les sujets entraînés sont supérieurs dans les tâches d'analogie, d'application des notions théoriques, d'analyse et d'évaluation. Les élèves du groupe contrôle sont supérieurs dans les questions de connaissance théorique.

Après avoir démontré eux aussi le lien entre la réussite en chimie et l'aptitude spatiale, un groupe de chercheurs s'est appliqué à cerner de façon précise la manière dont interviennent les opérations spatiales dans le rendement (Bodner, McMillen et Greenbowe,1983 ; Pribyl et Bodner,1987 ; Carter, LaRussa et Bodner,1987). À des étudiants d'un cours universitaire d'introduction à la chimie ils font passer deux tests spatiaux. Les sujets sont divisés en deux groupes selon leur aptitude spatiale (forte ou faible). Après l'analyse du contenu des examens, les chercheurs regroupent certaines questions en fonction des thèmes abordés. Ils constituent ainsi des sous-scores d'examens. Le groupe "fort" en spatial s'avère meilleur que le groupe "faible" dans 25 des 36 sous-scores d'examens. Tenant compte de l'habileté verbale et de l'aptitude en mathématiques comme covariables, les scores spatiaux demeurent significatifs dans plus de la moitié des mesures. Les élèves qui complètent le cours de chimie possèdent des habiletés spatiales équivalentes à ceux qui abandonnent le cours mais les habiletés spatiales sont plus développées chez ceux qui réussissent avec de fortes notes que chez ceux qui réussissent avec de faibles notes. Plus particulièrement, on obtient des corrélations plus élevées avec les sous-scores qui mesurent des habiletés de résolution de problèmes, alors que les corrélations sont faibles avec les sous-scores des questions auxquelles on répond par un algorithme ou tout simplement grâce à la mémoire. Certains problèmes qui se résolvent à l'aide d'algorithmes par des gens expérimentés sont vus comme des problèmes difficiles à résoudre par des novices. Il n'y a pas de corrélation entre les questions de connaissances générales et les habiletés spatiales.

Pour expliquer ces résultats, Carter, Larussa et Bodner (1987) émettent l'hypothèse que les tâches de figures imbriquées, utilisées comme mesure de l'habileté spatiale, exigent les mêmes opérations mentales que l'étape de compréhension d'un problème. En effet, pour être en mesure de résoudre un problème il faut d'abord décortiquer dans l'énoncé de ce problème tous les éléments susceptibles de nous amener à le reconnaître comme étant d'un type particulier, autrement dit, de le comprendre, ce qui nous permettra par la suite d'émettre des idées pour sa résolution. Ceci nous permet d'expliquer pourquoi certains étudiants ne font que réussir des exercices et ont de la difficulté à solutionner de nouveaux problèmes puisque, dans l'apprentissage, l'accent est mis sur la pratique des processus analytiques pour obtenir des réponses et non pas sur des opérations mentales de désemboîtement de l'information. Cette interprétation est partagée par Gabel (1989) qui mentionne que les élèves indépendants du champ perceptif (ceux qui réussissent bien les tests de figures imbriquées) sont meilleurs pour résoudre les problèmes de raisonnement comparatif. Ces élèves ont la capacité de mettre de côté les informations non pertinentes et de travailler seulement avec les informations pertinentes qu'elles soient écrites ou implicites. Ainsi, l'indépendance du champ pourrait être définie comme une mesure de la capacité d'un individu à restructurer un problème pour lui donner un sens.

Pribyl et Bodner (1987) étudient la relation entre l'habileté spatiale et la performance dans 4 cours de chimie organique offerts à des clientèles différentes. Il en ressort une relation faible mais positive entre l'habileté spatiale et la réussite en chimie. Dans un cours de chimie organique offert à des étudiants avancés (agriculture et sciences santé), l'habileté spatiale semble occuper une place très importante. Une analyse plus approfondie des examens démontre que ce cours requiert des habiletés cognitives supérieures et que les examens contiennent plus de problèmes à résoudre que dans les trois autres cours de chimie. Ce ne sont pas les contenus (spatiaux ou non-spatiaux) qui sont reliés à l'habileté spatiale, mais plutôt la difficulté de résolution du problème. Dans un tel cas, les habiletés spatiales pourraient expliquer 15% de la variance dans les performances en chimie organique. Les étudiants forts en habileté spatiale ont tendance à faire des dessins ou des esquisses préliminaires avant la résolution des problèmes, tandis que ceux qui ont de faibles habiletés spatiales ne font pas de tels dessins ou font des esquisses disproportionnées ou inadéquates. Les auteurs supposent que les diagrammes agissent comme aide-mémoire, facilitent la formation d'images subséquentes et attirent l'attention sur des relations additionnelles dans le problème.

Les habiletés spatiales sont donc un atout important en chimie. Mais, comme c'est le cas aussi en mathématiques, ce ne sont pas tous les problèmes qui nécessitent l'apport du spatial. Certains contenus de cours ou certains examens sont à caractère plus spatiaux que d'autres. De même, les questions nouvelles et difficiles requérant un processus de résolution de problèmes sont les plus susceptibles d'exiger des opérations ou des produits spatiaux.

1.7 Habileté spatiale et réussite en physique

Nous pensons qu'il y a tout lieu de croire que la physique requiert elle aussi de bonnes habiletés spatiales. En fait, étant donné l'objet de la physique, l'utilisation fréquente de schémas, de graphiques et de modèles, l'utilisation du laboratoire étant aussi considérée comme outil important dans l'apprentissage des concepts de physique, il nous apparaît réaliste de reconnaître l'apport important des opérations spatiales. Très peu d'études cependant se sont intéressées directement à la question et la recherche dans ce domaine en est encore à un niveau exploratoire.

L'étude classique de Siemankowski et MacKnight (1971), préalablement citée, nous indique que parmi tous les étudiants qui ont participé à l'étude, ce sont ceux en physique qui possèdent les habiletés spatiales les plus élevées. Ils obtiennent des scores spatiaux plus élevés que les étudiants des autres sciences telles les mathématiques, la géologie, la biologie et la chimie.

Pallrand et Seeber (1984) ont réalisé une étude qui nous intéresse particulièrement car elle fut menée auprès d'étudiants en physique à leur première session au collégial. Les sujets sont répartis à l'intérieur de trois groupes (contrôle, placebo et expérimental) et un autre groupe d'élèves en arts sert aussi de groupe contrôle. La mesure de l'habileté spatiale est obtenue à partir de sept (7) tâches différentes dont les suivantes : les figures cachées (perception), la comparaison de cubes (orientation), le développement de surface (visualisation). Un test de mathématiques est aussi administré en début de session. Le groupe placebo suit un cours d'histoire des sciences, tandis que le groupe expérimental suit des cours de dessin d'extérieur, de géométrie, de transformations de solides et étudie les notions de position et de mouvement relatif. Un examen final permet de mesurer la réussite en physique et un post-test d'habiletés spatiales renseigne sur le développement des habiletés en cours de session pour les quatre groupes. Les résultats indiquent que les gens faibles dans les tests de perception abandonnent plus fréquemment, bien qu'ils aient les mêmes compétences mathématiques que leurs pairs. Tous les groupes ont obtenu de meilleurs résultats dans le post-test spatial, le groupe des arts étant généralement plus faible que les 3 autres. Les changements sont les plus importants dans le groupe expérimental sur presque toutes les tâches sauf le pliage de papier. Les résultats de fin de session en physique sont plus élevés dans le groupe expérimental et plus particulièrement pour la partie d'évaluation consacrée aux laboratoires et pour la partie spatiale de l'examen final. La conclusion des auteurs indique que l'habileté spatiale est utile à la compréhension et la construction de diagrammes, de graphiques ainsi que pour le travail de laboratoire.

Un article de Larkin (1982) nous propose une approche différente dans l'investigation des habiletés spatiales. Il utilise une méthode d'analyse de protocole de résolution de problèmes qui se rattache à la théorie du traitement de l'information en psychologie. Par exemple, il demande à ses sujets de résoudre un problème de physique relatif au comportement de liquides dans un tube en U et de décrire verbalement tout ce qu'ils pensent et tout ce qu'ils font pour en arriver à une solution. Le verbatim de chaque sujet est décortiqué en différentes opérations, ce qui constitue un protocole. De ce protocole on extrait une liste d'étapes structurées représentant la démarche de résolution du problème de l'élève. D'autre part, un ordinateur est doté d'un système de production contenant des éléments qui s'apparentent aux énoncés des problèmes. Il contient aussi des règles spatiales qui correspondent aux inférences qu'un observateur attentif peut faire à propos d'une situation physique réelle. Il contient également des règles d'inférence théorique correspondant aux textes du volume portant sur ce type de problème. Les règles spatiales sont de différentes natures : cela pourrait être des relations spatiales entre les parties réelles d'une situation, la possibilité de localiser et de marquer un point dans le système, des théorèmes géométriques et des quantités qui peuvent facilement s'égaler. L'ordinateur peut résoudre les problèmes correctement si on lui donne toutes

les informations nécessaires. Mais en retranchant une ou toutes les règles spatiales de la mémoire, l'ordinateur donne des solutions erronées du genre obtenu par certains élèves. Il apparaît que les sujets qui résolvent correctement les problèmes le font selon un procédé qui inclut plusieurs énoncés spatiaux : ces élèves ont des scores spatiaux élevés, ne font pas d'erreurs algébriques et dessinent des diagrammes corrects. En comparant la façon de procéder de l'ordinateur à celle des sujets, on s'aperçoit que ceux qui ratent en tout ou en partie les problèmes de physique commettent le même genre d'erreurs que l'ordinateur à qui l'on a soustrait des connaissances spatiales: ces étudiants utilisent peu d'énoncés spatiaux, et leurs schémas sont incomplets.

Larkin conclut qu'en physique, pour résoudre des problèmes, ce n'est pas la connaissance des principes de physique qui importe le plus mais plutôt la conscience et la compréhension des conditions selon lesquelles ces principes opèrent. Cette conscience peut s'appeler la connaissance du bon sens spatial. Or ceci ne s'enseigne pas explicitement dans les cours de physique. Les professeurs de physique de niveau avancé prennent pour acquis que leurs étudiants manipulent bien les données spatiales d'un problème et mettent donc l'accent sur les processus analytiques ou mathématiques qui sont également complexes. Mais la formule mathématique n'est d'aucune utilité si l'étudiant ne peut l'utiliser avec discernement. Il faut se rappeler que l'élève ne perçoit pas les problèmes de la même façon que le maître. Ce dernier peut facilement résoudre les problèmes à l'aide d'un ensemble d'algorithmes car il reconnaît rapidement le type de problème. L'élève, pour sa part, doit passer plus de temps à décortiquer l'énoncé, visualiser la situation et donc faire intervenir davantage ses aptitudes spatiales. Dès lors, il apparaît opportun de souligner les activités particulières qui mobilisent la pensée spatiale des élèves dans les cours de physique au collégial.

Les tâches spatiales plus spécifiques à la physique et citées dans la littérature semblent se résumer à peu de choses : Pallrand et Seeber (1984) rappellent l'utilité du spatial pour les diagrammes, les graphiques ainsi que le travail de laboratoire ; ailleurs, Siemankowski et MacKnight (1971) parlent de conceptualisation des 3 dimensions, alors qu'Andersson (1976) mentionne la position et l'objet de référence ; Larkin (1982), lui, cite la fabrication de schémas, de diagrammes ainsi que la connaissance des principes élémentaires de physique et finalement Bishop (1978) mentionne la transmission de l'énergie, les figures de diffraction et les champs de forces. Afin d'aider les professeurs-es de physique à prendre conscience des difficultés spatiales auxquelles sont confrontés leurs élèves, nous croyons utile d'établir une liste des tâches spatiales essentielles à la physique, de détailler ces tâches et de les accompagner d'exemples à l'occasion.

ENCADRÉ 3 : Liste des tâches spatiales inhérentes à la physique

a-les schémas, dessins, diagrammes, figures, cartes : -interpréter ceux des manuels, du professeur (cartes du ciel, figures d'interférence et de diffraction) ; en tracer ; -s'orienter par rapport à une représentation bi-dimensionnelle d'un objet, d'un appareil, d'une scène tri-dimensionnelle, que cette représentation soit vue de face, de plan, transversale ou latérale (coupe d'un cyclotron, d'un réacteur nucléaire) ; -trouver, à partir d'une figure géométrique, des relations trigonométriques appropriées (démonstrations des relations de l'optique géométrique ; masses sur un plan incliné).
b-les corps et les phénomènes difficilement visibles à l'oeil nu : -se figurer les objets micro et macroscopiques, tels : électrons, atomes, corps célestes très éloignés ; -visualiser des mouvements, des interactions comme : la fusion nucléaire, le courant électrique, la raréfaction d'un gaz, la diffraction des micro-ondes ; -décomposer une superposition d'ondes (battement, ondes stationnaires, timbre musical).
c-les graphiques : -interpréter, lire un graphique déjà construit tel celui de la position en fonction du temps pour le mouvement harmonique simple ; le modifier au besoin ; -fabriquer un graphique : choisir les échelles ; localiser les points ; tracer la meilleure courbe passant par la moyenne des points expérimentaux.
d-les laboratoires : -réaliser un montage pratique à partir de données verbales ou d'un dessin ; -associer les pièces mécaniques ou électriques aux symboles qui les représentent.
e-les notions, concepts abstraits tels : -tracer des lignes de champ, les comprendre ; -se représenter un objet virtuel, une image virtuelle en optique ; -choisir une surface imaginaire appropriée afin d'appliquer correctement le théorème de Gauss ; -suivre et comprendre la démonstration théorique de la polarisation des ondes électro-magnétiques.

f-les repères galiléens et accélérés :	-être capable de passer d'un repère à l'autre en imagination et pouvoir écrire les équations mathématiques décrivant ce passage : identification des forces réelles et imaginaires, application des lois de Newton, localisation de la position, représentation de la trajectoire, etc.
g-les tableaux :	-lire les tableaux des publications, volumes ; -présenter lisiblement des données.
h-les trajectoires :	-se représenter mentalement des translations (trajectoires simultanées de 2 projectiles), des rotations (engrenages), des réflexions et des réfractions de faisceaux lumineux.
i-l'utilisation de l'espace tri-dimensionnel, en particulier :	-appliquer correctement les règles utiles en magnétisme : main droite, tire-bouchon ; -visualiser les phénomènes magnétiques ; -représenter en deux dimensions à la fois les particules chargées en mouvement, le champ magnétique et la force magnétique.
j-les vecteurs :	-représenter des quantités physiques orientées ; -les projeter sur des axes ; -les additionner, soustraire, multiplier scalairement ou vectoriellement (ex. : calcul du moment de force, de la force magnétique).
k-la résolution de problèmes :	-combiner une ou plusieurs des tâches précédentes afin d'être en mesure, par la suite, de compléter le problème à l'aide d'autres habiletés : analytiques, logiques, verbales, ...

Nous savons que cette liste de tâches est incomplète. Chaque lecteur aura ainsi le plaisir de l'enrichir à partir de son expérience auprès des élèves du collégial. Il s'avère toutefois important de prendre conscience que les habiletés spatiales sont essentielles à l'appropriation de concepts nouveaux, que par la suite l'élève peut procéder par algorithmes pour résoudre des problèmes de routine, des exercices faciles, mais que ces habiletés spatiales redeviennent indispensables pour la résolution de problèmes écrits plus difficiles.

Nous croyons qu'un cours de physique favorise plus qu'une simple accumulation de connaissances chez les étudiants : il contribue également à la maîtrise de la résolution de problèmes

et, en mobilisant ainsi les habiletés spatiales des élèves, il peut développer ces mêmes habiletés ou du moins les rendre plus fonctionnelles et efficaces. Un des objectifs de cette étude est de vérifier cette assertion.

Notre principal objectif est cependant d'évaluer la contribution des habiletés spatiales dans la prédiction de la réussite des cours de physique. Pour préciser ce rôle il est essentiel d'explorer l'apport de certains autres indicateurs de la réussite. Il est possible que d'autres facteurs soient plus importants que les habiletés spatiales, c'est pourquoi nous devons les considérer et évaluer aussi leur contribution à la réussite. Nous référons le lecteur au début de ce chapitre où sont présentés plusieurs de ces facteurs classés à l'intérieur de trois catégories.

1.8 Autres facteurs à considérer dans la réussite en physique

1.8.1 Acquis précollégiaux et collégiaux

Dans la catégorie des acquis précollégiaux, les cours suivis et les notes obtenues en sciences sont considérées par plusieurs intervenants comme des indicateurs importants de la réussite (Conseil des collèges, 1988 ; Beauchamp, 1988). Dans les études américaines sur la réussite en sciences, les chercheurs utilisent couramment des données tirées d'un test d'aptitude scolaire administré aux candidats de plusieurs collèges américains. Le SAT (*Scholar Aptitude Test)* évalue l'aptitude en mathématiques et l'aptitude verbale. L'aptitude mathématique ou numérique semble être un bon indicateur de la réussite (Rixse et Pickering, 1985) mais ne garantit pas à elle seule le succès en physique (Hudson et McIntire, 1977).

Dans leurs études en chimie, Bodner et al. (1983, 1987) ont voulu comparer les valeurs prédictives de l'habileté spatiale et des deux facteurs mesurés dans le SAT. Il est arrivé dans quelques cas qu'il soit impossible de dissocier les trois facteurs puisque leur variation commune était trop grande. Les élèves supérieurs dans le spatial l'étaient aussi au niveau verbal et mathématique. De même, les élèves faibles étaient inférieurs dans ces trois dimensions de l'intelligence.

Dans les instruments standardisés d'évaluation des habiletés spatiales, la part de l'aptitude verbale est négligeable puisque l'expérimentateur qui fait passer les tests doit d'abord s'assurer que tous les sujets comprennent bien ce qu'ils ont à faire. Par contre, l'aptitude verbale joue un rôle évident lorsqu'il s'agit de comprendre les explications données par un professeur ou les énoncés souvent complexes des questions d'examens. Certains mot-clés sont couramment utilisés et l'élève

doit en connaître le sens. Ce sont des mots qui identifient le genre de production que doit faire l'élève: quantifier, décrire, analyser, schématiser, etc.

Il est aussi possible que certains étudiants possèdent déjà une expérience collégiale en physique ou en mathématiques qui leur procure un avantage sur les autres élèves. Ces cours pourraient avoir un impact autant au niveau de la maîtrise de certaines notions importantes qu'au niveau des habiletés spatiales elles-mêmes.

1.8.2 Perception de sa compétence

Dans un autre ordre d'idées, soulignons que la perception que l'élève a de sa propre compétence est quelquefois un facteur déterminant dans sa réussite (Sherman, 1983 ; White & Sedlacek, 1986). Cette perception personnelle de sa compétence peut être plus importante que la performance antérieure réelle pour prédire la réussite future. En ce qui concerne l'habileté spatiale, il existe aussi des mesures de la compétence perçue. Kozlowski et Bryant (1977) ont élaboré une forme d'auto-évaluation du sens de l'orientation. Cette auto-évaluation est corrélée positivement avec des tâches d'orientation spatiale et explique 22% de la variance des erreurs d'estimation de la direction.

Plus récemment, Lunneborg et Lunneborg (1986) ont vérifié la validité d'une mesure de compétence perçue (Everyday Spatial Activities). Le test comprend 4 dimensions : l'utilisation d'outils, la compréhension scientifique, l'habileté à faire des arrangements d'objets et l'habileté pour le dessin technique. Certaines différences entre hommes et femmes ont été enregistrées concernant l'utilisation d'outils et le dessin mécanique. Les quatre échelles sont en corrélation positive avec les tests d'habiletés spatiales et de raisonnement mécanique. Nous nous proposons d'utiliser cet instrument pour contrôler le facteur de la compétence perçue.

1.8.3 Différences sexuelles dans les habiletés spatiales et les sciences

Nous avons vu précédemment certains facteurs susceptibles d'influencer la réussite en physique. Il est important aussi de considérer que les habiletés spatiales sont elles-mêmes sous l'influence d'autres variables. Elles sont soumises comme la majorité des facteurs intellectuels à l'interdépendance des déterminants génétiques et environnementaux. Le sexe est le facteur qui semble influencer le plus les habiletés spatiales.

La littérature portant sur les habiletés spatiales regorge d'études qui mettent en évidence les différences de performance entre hommes et femmes. En général la moyenne des hommes aux tests spatiaux est supérieure à celle des femmes (McGee, 1979; Harris, 1981; Nyborg, 1983). Bien que cette différence entre sexes ne fasse pas l'objet de cette recherche, il semble prudent de la considérer comme covariable importante. Voici quelques données qui nous obligent à considérer le facteur sexe: les hommes réussissent mieux les tâches de figures imbriquées (McGee, 1979), les tâches utilisant des formes géométriques (Nyborg, 1983), les tâches de développement de surface (Guay & McDaniel, 1977) et les tests de compréhension mécanique (Harris, 1981). Selon ces mêmes auteurs, cette supériorité des hommes se manifeste de façon plus évidente à partir de la puberté et les plus grands écarts entre les sexes sont souvent observés aux alentours de 17 et 18 ans. C'est cependant vers l'âge de 25 ans que les habiletés spatiales atteignent leur développement maximal. Il faut noter aussi que ces différences sexuelles sont plus prononcées dans les tâches qui nécessitent des opérations ou des produits spatiaux que dans les tâches qui ne dépendent que de la représentation spatiale intrinsèque que nous avons appelée la structure spatiale (Eliot et Haupman, 1981). Concernant les produits spatiaux, Ben-Chaim, Lappan et Houang (1989) ont noté que les jeunes filles sont aussi aptes que les garçons à transmettre des informations spatiales sur l'environnement mais qu'elles ont plus tendance que les garçons à utiliser un mode verbal de communication (texte écrit) qu'un mode graphique (dessin).

Un autre point à considérer est le poids relatif des habiletés spatiales dans la réussite scolaire qui varie aussi en fonction des sexes. La capacité de l'habileté spatiale de prédire la réussite semble meilleure chez les populations de jeunes femmes que chez les populations d'hommes âgés (Lohman, 1988). L'étude longitudinale de Sherman (1983) a montré que la visualisation spatiale était un indicateur de la persévérance à suivre des cours de mathématiques pour les femmes mais qu'elle ne prédisait rien pour la population masculine. Ces résultats sont concordants avec ceux de Bodner et McMillen (1983) qui montrent que la visualisation joue un rôle dans la réussite en chimie et que cette habileté est plus importante dans la réussite des femmes que dans celle des hommes. Ethington et Wolfle (1984) arrivent à la même conclusion en regard de la réussite en mathématiques. Le même phénomène est observé lorsqu'on procède à l'entraînement des habiletés spatiales: les filles sont, dans certaines conditons, les seules à profiter de l'entraînement et à améliorer leur réussite (Ferrini-Mundy, 1987).

Le sexe est un facteur important dans l'évaluation des habiletés spatiales et l'est aussi dans la performance en sciences. Finn, Dulberg et Reis (1979) ont rassemblé des données mondiales provenant de l'I.E.A. (International Association for the Evaluation of Education Achievement). Il en ressort que, entre les sexes, la différence de performance en sciences est universelle. Les écarts

de performance favorisant les hommes sont plus manifestes en physique et sont les plus minimes en biologie. On serait tenté d'attribuer ces différences de rendement en sciences aux différences dans les habiletés spatiales mais Ethington et Wolfle (1984) ont bien démontré dans leur modèle que la réussite en mathématiques dépend du facteur sexe même si on contrôle les différences dans les habiletés spatiales.

Les femmes offrent cependant de meilleures performances sous certaines conditions. Eisenberg et McGinty (1977) enregistrent des performances supérieures au niveau spatial et scolaire chez les femmes dans des cours de mathématiques avancées offerts à des spécialistes du monde des affaires. Il semble aussi que l'environnement immédiat de l'étudiante ait un impact déterminant dans sa réussite en sciences. Au niveau secondaire, les filles réussissent mieux que les garçons dans des tests d'aptitudes en sciences lorsqu'elles proviennent d'écoles essentiellement féminines où les professeures et les élèves sont toutes des femmes (Finn et al., 1979). Il est possible que la présence de modèles féminins de succès et l'absence de compétition avec des hommes soient des facteurs environnementaux qui favorisent le rendement de ces étudiantes.

Toutes ces études nous incitent à considérer les différences sexuelles comme une covariable importante dans toute recherche portant sur les habiletés spatiales. Les femmes se comportent différemment des hommes dans cette dimension cognitive tant au niveau des opérations que des produits spatiaux.

1.9 Sommaire

Plusieurs facteurs interviennent dans la réussite en sciences. Ces facteurs sont de nature scolaire, affective, sociale ou intellectuelle. La physique est une matière scolaire particulièrement difficile à réussir, les abandons et les échecs sont nombreux au premier cours de physique suivi au collégial. Le facteur intellectuel retient notre attention et nous émettons l'hypothèse que la physique est une discipline qui nécessite la maîtrise d'habiletés spatiales. Plusieurs études corrélationnelles ou expérimentales rapportent des liens étroits entre différentes tâches spatiales et la réussite en mathématiques, biologie, chimie et physique. L'habileté spatiale se manifeste plus spécifiquement dans certaines des activités reliées aux sciences. Quelques auteurs ont pu identifier des contenus spatiaux dans les évaluations des cours de sciences (Siemankowski et MacKnight, 1971 ; Small & Morton, 1983). D'autres proposent que les opérations spatiales sont nécessaires dans la résolution de problèmes nouveaux mais ne touchent pas les questions de connaissance ou de mémoire (Talley, 1978 ; Lean & Clements, 1980 ; Pribyl & Bodner, 1987). Il semble que les processus analytiques

soient différents des processus spatiaux (Piemonte, 1982). Les études portant sur des élèves de physique montrent que les évaluations du travail de laboratoire (Pallrand & Seeber, 1984) et la capacité de bien schématiser les données d'un problème (Larkin, 1982) sont liées aux habiletés spatiales des élèves.

Lorsqu'il est question d'évaluer l'habileté spatiale ou la réussite en sciences, il apparaît important de tenir compte de la variable sexe. Les hommes sont supérieurs dans les habiletés spatiales mais ces habiletés prédisent mieux la réussite des femmes que celle des hommes (Lohman, 1988). La formation en sciences reçue au secondaire est une autre variable très importante à considérer (Ethington & Wolfle, 1984) et les aptitudes mathématiques sont fortement liées à la réussite (Rixse & Pickering, 1985). Il faut aussi garder en mémoire que la perception de sa compétence peut être plus déterminante que la compétence réelle quand il s'agit de prédire la réussite d'un individu (Bandura, 1977).

1.10 Objectifs et Hypothèses

Objectif 1 : Vérifier les relations entre différentes habiletés spatiales de même qu'entre habiletés spatiales et habiletés non-spatiales.

Hypothèse 1.1 Il y a des corrélations positives entre les scores aux différentes mesures d'habiletés spatiales. Les habiletés pures corrèleront fortement entre elles, de même que les habiletés appliquées à la physique. Les relations entre les habiletés non-appliquées (pures) et appliquées seront positives mais faibles.

Hypothèse 1.2 Les variables sexe, compétence spatiale, expérience en mathématiques et en physique au secondaire seront corrélées positivement avec les scores d'habiletés spatiales. L'expérience en mathématiques et en physique au secondaire sera plus fortement corrélée avec les scores d'habiletés spatiales appliquées à la physique.

Objectif 2 : **Vérifier les relations entre l'expérience de la physique au collégial et la maîtrise de l'habileté spatiale.**

Hypothèse 2.1 **Plus les élèves ont réussi de cours de physique, meilleurs sont leurs scores d'habiletés spatiales.**

Hypothèse 2.2 **Les élèves qui ont réussi leur cours de physique 111 ont de meilleurs scores d'habiletés spatiales que les élèves qui n'ont aucune expérience de la physique au collégial.**

Objectif 3 : **Vérifier la relation entre le rendement scolaire en physique et la maîtrise de l'habileté spatiale.**

Hypothèse 3.1 La note finale de l'élève sera corrélée avec ses scores d'habiletés spatiales.

Hypothèse 3.2 Les résultats aux questions d'évaluation jugées à fort contenu spatial seront fortement corrélés avec les scores d'habiletés spatiales.

Hypothèse 3.3 Les résultats aux exercices de laboratoire seront corrélés plus fortement que la note finale avec les scores d'habiletés spatiales.

CHAPITRE 2

MÉTHODOLOGIE

Nous exposons maintenant la méthodologie suivie pour répondre aux objectifs de cette étude et vérifier les hypothèses générales énoncées dans la section précédente. Nous présentons d'abord la population étudiée, le type d'échantillonnage et l'échantillon retenu. Nous décrivons ensuite les instruments : ceux qui permettent de mesurer la capacité de comprendre et d'exécuter les différentes tâches spatiales de même que ceux permettant de mesurer certaines covariables que nous désirons contrôler. Les variables dépendantes de l'étude seront enfin définies et nous terminerons en expliquant la procédure suivie pour recueillir les données.

2.1 Population visée et échantillonnage

L'objectif premier étant d'évaluer le rôle de l'habileté spatiale en physique, nous avons identifié la population d'étude comme suit, c'est-à-dire l'ensemble des élèves qui fréquentent le collège de Sainte-Foy à la session d'hiver 1990 et inscrits à l'un des cours de physique suivants : physique mécanique (203-101), électricité et magnétisme (203-201) ou optique et physique moderne (203-301). Cette population comprend 846 élèves dont 222 (101 garçons et 121 filles) en physique 101, 325 élèves en physique 201 (180 garçons et 145 filles) et 299 élèves en physique 301 (180 garçons et 119 filles) . Pour répondre à l'objectif spécifique qui vise à identifier de nouveaux indicateurs de la réussite en première année, nous avons opté pour surreprésenter les élèves de collège 1, c'est-à-dire ceux qui, au moment de la cueillette des données, étaient inscrits au cours de physique mécanique. L'échantillon tiré de cette population fut de type accidentel. Après avoir informé les professeurs(es) du département de physique des objectifs et du contenu du projet d'étude, quatre d'entre eux se sont montrés intéressés à collaborer avec leurs classes à la cueillette des données. Deux professeurs enseignent à des groupes de 101, un à un groupe de 201 et un autre à un groupe de 301. Ces groupes constituent notre échantillon. Les enseignants n'ayant pas tous les mêmes critères d'évaluation, chaque groupe-professeur est considéré comme échantillon indépendant. En résumé, il y a donc un échantillonnage accidentel et quatre sous-échantillons (deux groupes de physique 101, un groupe de physique 201 et un groupe de physique 301). Le tableau 2 décrit l'échantillon étudié.

TABLEAU 2

Échantillon étudié dans le cadre du projet

	Groupe 1 (101)	Groupe 2 (101)	Groupe 3 (201)	Groupe 4 (301)	Total*
Nombre	76	75	41	37	229
Sexe :					
homme	23	33	16	21	93
femme	35	34	21	15	104
Âge moyen	17,8	17,5	17,4	18,6	17,7
Expérience de la physique au sec. :					
2 ans	39	40	33	30	142
1 an	19	27	05	07	58

* : Le total change d'une variable à l'autre parce que certains sujets n'ont pas fourni tous les renseignements demandés.

Le nombre d'élèves de l'échantillon représente 27% de toute la population réelle. La proportion d'hommes et de femmes dans l'échantillon est équivalente à celle retrouvée dans la population (khi carré = 2,46 , n. s.) ; l'âge moyen des élèves est de 17,7 ans ; il y a très peu de variance entre les âges des élèves de l'échantillon ($s^2 = 1,38$).

2.2 Instruments de mesure

2.2.1 Mesurer la capacité de comprendre et d'exécuter les principales tâches spatiales

Dans le premier chapitre, nous avons choisi de structurer l'étude de l'habileté spatiale en parlant de tâches à réaliser. La compétence spatiale de l'élève est fonction de ses capacités de comprendre et d'exécuter une série de tâches spatiales. Pour bien mesurer ces capacités, nous avons utilisé quatre instruments :

- le test de figures géométriques (F. G.)
- le test d'habiletés perceptuelles (H. P.)
- le test collectif des figures cachées (F. C.)
- le test de représentation mentale en physique (R. M.)

Les trois premiers sont des versions adaptées d'outils américains sans aucun contenu culturel ou verbal. Le dernier test fut développé par les auteurs du présent rapport pour les fins de l'étude. Dans ce qui suit, nous décrivons chaque instrument et nous commentons sa valeur métrologique. Nous porterons une attention toute particulière au R. M. en expliquant les différentes étapes de son élaboration.

2.2.1.1 Test de figures géométriques (F. G.)

Dans sa version américaine, ce test porte le nom de *Minnesota Paper Form Board* (Likert et Quasha, 1970). Il permet de mesurer la capacité pour un individu d'assimiler certaines formes géométriques et d'exécuter mentalement des rotations et des renversements d'objets dans un espace à deux dimensions. Certains psychométriciens le classent comme une tâche de visualisation spatiale (Kail et Pellegrino, 1985) et d'autres l'identifient comme une épreuve de combinaison de figures planes (Eliot, 1980). Dans ce test, l'élève doit reconstituer, à partir de figures géométriques fragmentées, une configuration complète. La reconstitution se fait mentalement et l'élève doit identifier la bonne reconstitution parmi cinq choix. La version originale du test comprend 64 éléments et le sujet a 20 minutes pour répondre au maximum d'items.

Parce que nous voulions mesurer un grand éventail de tâches spatiales, et limités dans le temps pour l'administration des outils, nous avons réduit le nombre d'items à 32 et le temps alloué à huit minutes. Après avoir expérimenté au préalable une version sans les 16 premiers et les 16 derniers éléments du test original, nous avons conclu qu'elle nous permettrait d'atteindre nos buts sans en affecter sa validité. Le résultat total est obtenu en additionnant le nombre de bonnes réponses fournies à l'intérieur du temps limite. Quelques items du F. G. sont présentés à l'appendice 1.

Un bon nombre des études de validité menées sur la version originale du test ont montré la capacité de l'instrument à prédire certaines performances scolaires d'élèves de niveau collégial. Pour ne citer que l'étude de Moore (dans Likert et Quasha, 1970), cette tâche est en corrélation avec le rendement des élèves en différents cours : dessin industiel ($r = 0,35$), mathématiques ($r = 0,17$), physique ($r = 0,17$), cours d'appoint aux mathématiques et à la mécanique ($r = 0,49$). Comme le rapporte Lezak (1983), cette mesure montre des corrélations faibles, positives et marginales avec les épreuves d'intelligence verbale. Les études de validité prédictive et de validité

concomitante sont amplement documentées dans le manuel d'accompagnement du *Minnesota Paper Form Board* (1970).

2.2.1.2 Test d'habiletés perceptuelles (H. P.)

Le H. P. est un sous-test de la batterie de tests différentiels d'aptitudes (*Differential Aptitude Tests*). Il permet de mesurer la capacité de se représenter un objet fabriqué à partir de l'image d'un patron et d'imaginer comment cet objet apparaîtrait si on le tournait dans divers sens. Une des caractéristiques inhérentes aux types de questions présentées dans le H. P. réside dans le fait qu'il nécessite la conceptualisation des objets en tenant compte des trois dimensions. Il est classé parmi les tests communément appelés "développement de surface". La version originale du test contient 40 éléments et le temps limite est de 30 minutes.

Pour les mêmes raisons que celles énoncées dans le cas du F. G., nous avons réduit le nombre d'items à 20 et le temps limite à 12 minutes. La version utilisée dans cette étude ne contient ni les 10 premiers ni les 10 derniers éléments de la version originale. Une préexpérimentation nous a permis de constater que ces modifications n'affectaient en rien la validité de la mesure.

Dans ce test, la tâche de l'élève sera de plier mentalement un certain patron et d'imaginer le modèle tri-dimensionnel ainsi obtenu. Il choisira parmi cinq modèles suggérés ceux qui sont identiques au volume imaginé suite au "développement de la surface". Le résultat total de l'élève s'obtient en faisant la différence entre le nombre total de bonnes réponses et le nombre total de mauvaises réponses. Quelques éléments du H. P. sont présentés à l'appendice 2.

Les scores au H. P. sont en forte corrélation avec le test d'habileté mentale primaire de Thurstone ($r = 0,67$) et la version modifiée du *Minnesota Paper Form Board* ($r = 0,52$), en corrélation moyenne avec l'épreuve d'habileté arithmétique du DAT (*Differential Aptitute Tests*) ($r = 0,26$) et en faible corrélation avec l'épreuve de logique non-verbale de la même batterie ($r = 0,17$). L'aptitude mesurée par ce test est importante dans des domaines tels le dessin mécanique et industriel ainsi que l'architecture.

2.2.1.3 Test collectif des figures cachées (F. C.)

Ce test est une adaptation française du *Group Embedded Figures Test* élaboré par Witkin et ses collaborateurs au tout début des années 1970. Cette adaptation fut réalisée par le docteur Paul L. Ranger et des études empiriques ont permis d'appuyer la validité de l'instrument pour des populations francophones. Le F. C. permet de mesurer la capacité de l'élève d'appréhender son milieu perceptif de façon plus analytique. En d'autres termes, il mesure la capacité d'extraire un élément de son contexte. Le F. C. est aussi une mesure d'indépendance du champ. L'élève très influencé par le champ perceptif lorsqu'il traite de l'information visuelle est dépendant du champ. Celui qui ne se laisse pas influencer par des éléments du champ perceptif est indépendant du champ. Dans ce test, le sujet doit retrouver une forme simple dans une forme plus complexe. Le temps limite pour retrouver 18 formes imbriquées est de 8 minutes. Le résultat total s'obtient en additionnant le nombre de figures retrouvées à l'intérieur du temps limite. Quelques items du F. C. sont présentés à l'appendice 3.

Le F. C. est régulièrement associé à d'excellentes aptitudes spatiales (Sherman, 1974). Pour une population d'étudiants universitaires, Ranger (1976) a montré que le rendement au F. C. est relié de manière significative à un instrument mesurant une aptitude spatiale (le test d'aptitude mentale primaire) tant chez les hommes ($r = 0,39$) que chez les femmes ($r = 0,64$).

2.2.1.4 Test de représentation mentale en physique (R. M.)

Le R. M. est un instrument que nous avons conçu pour mesurer les habiletés spatiales de l'élève reliées à l'exécution d'une tâche propre à la physique au collégial. Nous désirions un instrument qui corresponde mieux à la réalité des élèves inscrits en physique. Lors de l'élaboration du test, nous avons choisi nos questions en fonction des critères suivants :

1) que les tâches requérant les habiletés suivantes soient principalement représentées : schématisation, construction et interprétation de graphiques, utilisation de vecteurs, sens de la mécanique, visualisation et orientation ;
2) qu'il n'y ait aucun calcul mathématique à effectuer ;
3) qu'il y ait des questions faciles, moyennement difficiles et quelques-unes plus difficiles.

La première version du test comportait des questions objectives ainsi que des questions traditionnelles, c'est-à-dire exigeant une production de la part de l'élève telle dessin, schéma, graphique, texte explicatif, représentation vectorielle et description.

Six élèves (2 de secondaire 5, 2 de mécanique 101, 1 de 201 et 1 de 301) ont préexpérimenté cette première version qui contenait 40 questions. Ils nous ont judicieusement conseillé de modifier tel dessin, telle expression ou de préciser telle donnée. La correction de cette épreuve nous a incités à retrancher les éléments trop faciles, i.e. réussis par tous, ainsi que les questions trop difficiles. De même, le temps moyen mis par ces élèves à répondre à chacune des questions nous a guidés pour choisir les questions à conserver.

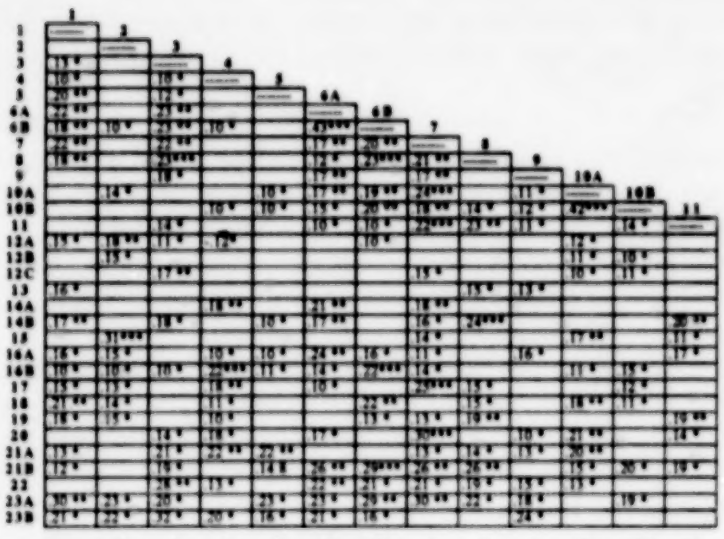
Le R. M. finalement utilisé comporte 23 numéros (appendice 4), quelques-uns exigeant plus d'un élément de réponse. La mise en ordre des numéros a été effectuée pour que l'élève réponde à une question demandant peu d'effort, puis à une exigeant un travail plus important, et ainsi de suite. Le temps alloué pour répondre au questionnaire est de quarante minutes. La cote maximale 1, 2 ou 3 a été attribuée à chaque question selon le nombre d'éléments de réponses exigé.

Pour évaluer la cohérence de la structure interne du R. M., nous avons étudié les relations entre les 23 numéros du questionnaire. Les coefficients de corrélation phi et V de Cramer nous permettent de mesurer le degré d'association entre le niveau de réussite d'un premier item et le niveau de réussite d'un second item. Nous avons calculé autant de coefficients de corrélation qu'il y avait de comparaisons possibles. Les résultats de cette démarche sont présentés au tableau 3.

Ce tableau indique que certaines questions du R. M. sont fortement ou faiblement en corrélation entre elles alors que d'autres ne le sont pas du tout. L'étude détaillée de cette matrice de corrélations en parallèle avec l'analyse de la nature de chaque question nous suggèrent l'existence de 5 facteurs : orientation (5, 10a, 10b, 21a, 21b, 23a et 23b), visualisation (2, 16a, 16b, 17, 18 et 19), graphique (3, 8 et 22), schématisation (6a, 6b, 12a, 12c, 14a et 14b) et déplacement spatial (7, 9, 11 et 20). Les questions 1, 4, 12b, 13 et 15 n'apparaissent nulle part soit en raison de leur trop grande facilité ou difficulté ou parce que leur relation avec d'autres éléments ne suggérait aucune logique structurale. Le facteur déplacement spatial est une dimension qui fut définie a posteriori. L'analyse des questions appartenant à ce facteur suggérait beaucoup plus une mesure de déplacement qu'une mesure du sens de la mécanique ou de l'utilisation de vecteurs.

TABLEAU 3

Matrice des corrélations entre les questions du test de représentation mentale appliquée à la physique.



Ces 5 facteurs sont les critères opérationnels qui permettent de mesurer la représentation mentale appliquée à la physique. Un résultat total (TOTAL R. M.) sera également utilisé comme indicateur global. L'addition des cotes de chaque question du R. M. que nous avons retenue constitue ce résultat total.

Le tableau 4 présente les intercorrélations entre les 5 facteurs du R. M. et le résultat total. Nonobstant le score total, ce sont les facteurs orientation, visualisation et déplacement spatial qui corrèlent le plus fortement entre eux. Les facteurs schématisation et graphique sont ceux qui obtiennent la plus faible corrélation avec tous les autres. Ces observations appuient la validité interne du R. M.. En effet, les 3 premiers facteurs s'apparentent beaucoup plus à ce que l'on retrouve comme habiletés spatiales pures. La visualisation et l'orientation sont identifiées par plusieurs auteurs comme des habiletés très rapprochées. Le déplacement spatial, pour sa part, semble une composante inhérente à ces deux habiletés et plus particulièrement aux capacités d'orientation spatiale : c'est ce que suggère la forte corrélation obtenue entre le déplacement et l'orientation spatiale. La capacité de schématiser et celle de lire, interpréter ou construire des graphiques s'éloignent, elles, des habiletés spatiales fondamentales. Elles s'apparentent beaucoup plus aux produits demandés à l'élève dans son apprentissage des sciences.

Pour conclure, nous présentons un tableau-synthèse (5) qui décrit les 5 facteurs du R. M., leur définition et les questions qui permettent de les mesurer.

TABLEAU 4 : Corrélations entre les différents facteurs du test de représentation mentale (R.M.) appliquée à la physique.

	ORIENT.	VISUAL.	GRAPH.	SCHÉM.	DÉPLAC.
ORIENT	.....				
VISUAL	.42 **	.....			
GRAPH.	.32 **	.22 *	.....		
SCHÉM.	.26 **	.35 **	.30 **	.....	
DEPLAC	.47 **	.43 **	.29 **	.26 **	.....
TOTAL	.74 **	.74 **	.59 **	.62 **	.71 **

Facteur	Définition	Questions
DÉPLACement spatial	Mesure de l'habileté à prédire la position ou la trajectoire d'un objet, après modification d'une donnée du problème.	7, 9, 11, 20
GRAPHique	Mesure de l'habileté à interpréter ou modifier un graphique.	3, 8, 22
ORIENTation	Mesure de l'habileté à déterminer la position d'un objet, après que l'objet ou l'observateur ait bougé.	5, 10, 21a, 21b, 23a, 23b
SCHÉMatisation	Mesure de l'habileté à représenter l'énoncé d'un problème par un schéma, incluant des illustrations de forces au besoin.	6a, 6b, 12a, 12c, 14a, 14b
VISUALisation	Mesure de l'habileté à modifier plus d'une donnée d'un problème, puis à comparer le résultat à l'énoncé initial.	2, 16a, 16b, 17, 18, 19
Total de la représentation mentale (R. M. TOTAL)	Mesure de l'ensemble des habiletés précédentes.	Tous les items ci-dessus.

TABLEAU-SYNTHÈSE 5 décrivant le test de représentation mentale (R. M.) appliquée à la physique.

2.2.2 Mesurer certaines variables qui peuvent influencer la relation entre la capacité spatiale et la réussite

La réussite en physique ne s'explique pas que par la maîtrise d'habiletés spatiales. L'objectif de cette étude n'est pas de démontrer que ce facteur à lui seul explique la réussite, mais bien de comprendre son rôle distinct. Réussir en physique au collégial peut dépendre d'une foule de facteurs :

- avoir développé de bonnes connaissances de base en mathématiques ;
- avoir acquis une expérience de la physique ;
- posséder de bonnes habitudes de travail ;
- avoir pleinement confiance en ses moyens ;
- etc.

Afin de mieux cerner le rôle de l'habileté spatiale dans la réussite de la physique, nous avons mesuré six covariables qui selon nous peuvent changer la nature de cette relation :

- la compréhension des mots-clés dans une évaluation ;
- la tendance à utiliser la mémorisation pour réussir un examen ;
- la perception de la compétence à réussir des tâches spatiales ;
- l'expérience de la physique au secondaire ;
- le résultat en mathématiques au secondaire ;
- le sexe.

Dans ce qui suit, nous présentons les critères qui permettent de mesurer ces covariables.

2.2.2.1 Test des mots-clés (M.-C.)

Le M.-C. permet de mesurer la compréhension qu'a l'élève des mots-clés souvent utilisés lors d'évaluations. Ce test fut conçu par les auteurs de ce rapport aux fins de l'étude entreprise. Treize mots-clés doivent être associés à leur définition : l'élève doit choisir celle qui convient le mieux parmi les définitions présentées. Ces mots-clés sont : résumer, illustrer, analyser, énumérer, comparer, critiquer, prouver, commenter, décrire, définir, expliquer, quantifier et schématiser. Une note maximale de 13 peut être obtenue par l'élève. Ce test est présenté à l'appendice 5.

Cet instrument nous permet de mesurer si l'élève comprend réellement les termes utilisés dans les examens de physique. Lorsqu'on demande à l'élève de faire des schémas, il peut posséder les aptitudes spatiales nécessaires pour représenter visuellement ce qui est demandé mais sans comprendre la signification du verbe contenu dans la question. S'il y avait une relation significative entre le score au M.-C. et la réussite en physique, celle-ci pourrait expliquer l'absence de relation entre les capacités spatiales et la réussite en physique.

2.2.2.2 Test de mémorisation (MÉMOR.)

La mémorisation est une stratégie fort populaire auprès de l'élève qui prépare ses examens de physique. Il est probable qu'il ne comprenne rien de manière spatiale mais qu'il utilise ses capacités mnémoniques si ce qu'on lui demande est identique à du déjà fait. Un élève peut alors réussir en physique sans faire appel à quelque capacité spatiale que ce soit. Pour contrôler l'influence de ce facteur, nous utilisons une échelle de mémorisation qui fut développée à l'origine par Blouin (1986) dans son étude "Réussir en sciences". Parce qu'il n'y avait aucun indice de consistance interne calculé sur cette échelle et que le groupe de questions de l'échelle originale nous semblait incomplet, nous avons ajouté certaines questions. L'échelle de mémorisation telle que présentée à l'appendice 6 fut utilisée dans cette étude. Une première analyse des relations entre les questions appartenant à cette échelle (analyse factorielle) nous a permis de constater l'existence de deux dimensions alors qu'il ne devait y en avoir qu'une au départ.

TABLEAU 6

Analyse factorielle du test de la tendance à mémoriser

Questions	Facteur 1	Facteur 2
7	,71	
8		,69
9	,71	
10	,64	
11		,73
12		,63
13	,70	
Variance expliquée	31,7%	18,1%
Alpha de Cronbach	,6395	

Comme le montre le tableau 6, les questions 7, 9, 10 et 13 appartiennent à la première dimension et les questions 8, 11 et 12 à la seconde. La consistance interne de ces deux groupes de questions fut analysée et nous avons décidé de ne conserver que le premier groupe qui apparaît plus cohérent tant sur le plan statistique que sur le plan logique. Une analyse de la nature de chaque item de ce groupe de questions nous permet de définir l'échelle de mémorisation comme suit : c'est la tendance de l'élève à utiliser le comportement de "mémorisation" pour se préparer aux examens de physique. Le score de mémorisation s'obtient donc en additionnant les items 7, 9, 10 et 13.

Comme dans le cas du M.-C., s'il y avait une relation significative entre le résultat à l'échelle de mémorisation et la réussite en physique, celle-ci pourrait expliquer l'absence de relation entre les capacités spatiales et la réussite en physique.

2.2.2.3 Test de perception de la compétence spatiale (P.C.SP.)

La compétence personnelle telle que perçue par l'élève joue un rôle important dans sa probabilité de succès. Un élève peut posséder de réelles capacités spatiales mais sans les exploiter ne s'estimant pas compétent dans des domaines qui requièrent ce type d'aptitudes. Pour mesurer la perception de compétence spatiale de l'élève, nous avons traduit (appendice 7) et adapté un instrument développé par Lunneborg et Lunneborg (1986). La version originale comporte 4 échelles indépendantes : la perception de la compétence à réussir en sciences, la perception de la compétence à dessiner, la perception de la compétence à manipuler des objets et la perception de la compétence à travailler avec des outils. L'analyse psychométrique s'est faite au moyen de l'étude de l'indépendance des dimensions du test (analyse factorielle) suivie d'une analyse de la consistance interne des questions devant mesurer ces construits indépendants (évaluation du alpha de Cronbach). Les tableaux 7 et 8 résument l'information obtenue à partir de ces démarches.

Le P.C.SP. présente une structure factorielle quelque peu différente de sa version originale anglaise. Cinq facteurs émergent. Le facteur "dessin" correspond en entier au facteur original. Deux questions du facteur "utilisation d'outils" et deux du facteur "compréhension scientifique" ont des poids factoriels partagés avec d'autres facteurs. La capacité de "manipuler des objets" se résume à 3 questions au lieu de 5 pour la version originale. La consistance interne des facteurs "dessin" et "utilisation d'outils" étant très acceptable, nous avons choisi d'en conserver tous les items. Les questions du facteur "compréhension scientifique" ont aussi été toutes conservées même si 2 de ces questions apparaissent avec d'autres facteurs : à la suite des analyses que nous avons faites, la consistance interne se révèle la plus forte lorsque les 5 éléments sont conservés. Enfin, nous avons réduit le facteur "manipulation" à 3 questions pour qu'il présente, de cette façon, une meilleure consistance interne. Le tableau 9 présente la définition de chaque facteur retenu et les items qui permettent de les mesurer.

TABLEAU 7 : Analyse factorielle du test de compétence spatiale(P.C.SP.) perçue. Un astérisque (*) indique que la question correspondante a été retenue dans le facteur.

Questions	Facteur 1	Facteur 2	Facteur 3	Facteur 4	Facteur 5
14	.29	.83 *			
15					.83 *
16	.30		.76 *		
17	.85 *				
18		.81 *			
19			.26	.33	.43 *
20		.28	.37	.58	
21	.60 *			.40	
22	.31	.48 *		.50	
23				.70	.28 *
24				.59	
25	.82 *				
26	.54	.29 *		.42	
27					.77 *
28			.83 *		
29	.76 *	.30			
30		.83 *			
31	.30	.25		.40	.16 *
32			.83 *		
33	.87 *				
Variance expliquée	28.9 %	11%	10.5 %	8.2 %	5.6 %

TABLEAU 8 : Coefficients de consistance interne alpha des quatre facteurs retenus du test de compétence spatiale perçue. Le numéro du facteur apparait entre parenthèses.

Facteurs	alpha	alpha standardisé
Dessin (1)	.8847	.8833
Utilisation d'outils (2)	.8161	.8166
Manipulation d'objets (3)	.7992	.7996
Compréhension scientifique (5)	.5950	.5976

TABLEAU 9
Les dimensions du P.C.SP.

Facteurs	Définitions	Items
Dessin	Perception de ma compétence à dessiner des croquis ou des objets.	17, 21, 25, 29, 33
Utilisation d'outils	Perception de ma compétence à utiliser des outils ou à lire des plans pour concevoir un objet.	14, 18, 22, 26, 30
Manipulation	Perception de ma compétence à manipuler des objets avec goût.	16, 28, 32
Compréhension scientifique	Perception de ma compétence à comprendre et à réussir des matières scientifiques.	15, 19, 23, 27, 31

Comme dans le cas du M.-C. et de l'échelle de mémorisation, s'il y avait une relation significative entre les scores au P.C.SP. et la réussite en physique, celle-ci pourrait expliquer l'absence de relation entre les capacités spatiales et la réussite en physique.

2.2.2.4 Trois critères importants : expérience de la physique au secondaire, sexe de l'élève et résultat des mathématiques au secondaire

Trois autres variables feront l'objet de contrôle lors de l'analyse corrélationnelle entre la maîtrise d'habiletés spatiales et la réussite en physique. La variable sexe doit être mesurée puisqu'elle est directement associée aux capacités spatiales (voir premier chapitre). Nous avons déjà relevé certaines données qui laissent croire à la supériorité des hommes dans ce domaine. De plus, comme nous posons comme postulat qu'il existe un lien entre la réussite de la physique au collégial et la maîtrise d'habiletés spatiales, il nous faut considérer toute expérience de la physique acquise avant l'entrée au collège. Dans la majorité des cas, l'expérience va se résumer à un profil dans lequel

l'élève a suivi un an ou 2 ans de physique au secondaire. Ce profil peut expliquer par lui-même certaines différences de rendement spatial entre deux élèves. Enfin, l'expérience des mathématiques que l'élève aura acquise avant son cours collégial est la troisième variable contrôle et est mesurée par la note moyenne de l'élève obtenue en mathématiques 534 du secondaire.

2.2.3 Mesurer la réussite en physique au collégial

Sept critères ont été mesurés pour définir la réussite en physique :

- la note finale de l'élève ;
- la note moyenne obtenue par l'élève aux travaux de laboratoire ;
- la note moyenne obtenue par l'élève aux examens écrits ;
- la note moyenne obtenue par l'élève aux questions d'examens jugées à contenu essentiellement spatial ;
- la note moyenne obtenue par l'élève aux questions d'examens jugées à fort contenu spatial ;
- la note moyenne obtenue par l'élève aux questions d'examens jugées à faible contenu spatial ;
- la note moyenne obtenue par l'élève aux questions d'examens jugées sans contenu spatial.

Pour distinguer les questions d'examens à fort et à faible contenu spatial, nous avons coté chacune des questions sur une échelle à 4 points. Voici les critères d'attribution de chaque cote :

cote SPATIALE 4 (question à contenu essentiellement spatial) : l'élève devait donner une réponse sous forme d'un produit spatial tel dessiner des lignes de champ électrique, tracer une trajectoire, construire un graphique, trouver l'image formée par un système optique en traçant la marche des rayons, ...

cote SPATIALE 3 (question à fort contenu spatial) : l'élève devait effectuer des opérations spatiales, mais la réponse demandée faisait également appel à d'autres types d'habiletés (verbales, mathématiques,etc.). Citons par exemple les graphiques de cinématique à partir desquels l'élève effectuait un calcul, l'évaluation de la charge de chaque condensateur faisant partie d'un ensemble en série et en parallèle, la localisation de la position du centre de masse réalisée à l'aide de l'enregistrement d'une collision, le calcul de l'image formée par une système optique complexe,...

cote SPATIALE 2 (question à faible contenu spatial) : l'élève avait à effectuer un minimum d'opérations spatiales ou à se remémorer un bagage spatial emmagasiné. Entre autres, il

choisissait un repère approprié, il se rappelait un montage expérimental similaire à la donnée écrite d'un problème, il évaluait le potentiel électrique d'une distribution de charges, il calculait la position angulaire et le déphasage des franges d'interférence d'un réseau,...

cote SPATIALE 1 (question sans contenu spatial apparent) : l'élève répondait à la question en faisant appel à ses habiletés mathématiques pures, à la mémoire, au sens critique, à l'expression verbale, à la capacité d'analyse ou de synthèse. Il pouvait calculer une accélération connaissant l'expression de la position dans le temps, compléter les équations de Maxwell, calculer l'incertitude d'un résultat découlant de mesures expérimentales, citer des applications ...s nucléaire, donner des définitions verbales,...

Trois juges ont coté toutes les questions d'examens. Une question devait recevoir trois fois la même cote avant d'être classée.

La note finale inclut possiblement des résultats autres que ceux mentionnés ci-dessus, certains professeurs exigeant des travaux différents de ceux des laboratoires et des examens.

Ces sept critères représentent les variables dépendantes de l'étude. Elles seront analysées en relation avec les mesures de capacités spatiales et les covariables présentées plus tôt.

2.3 Procédure

Lors des deux premières semaines de cours à la session hiver 1990, nous avons rencontré les six classes d'élèves. Durant ces rencontres, les élèves ont complété les différents instruments décrits à la section 2.2. L'ordre dans lequel ces instruments ont été présentés fut le suivant pour tous les groupes : H.P., F.C., F.G., R.M. et M.-C.. Un questionnaire contenant différents renseignements ainsi que les tests MÉMOR. et P.C.SP. furent complétés par l'élève, dans la pause ou à la maison. L'administration des questionnaires a duré près de deux heures. Certains goupes ont été rencontrés dans un bloc de deux heures, d'autres ont été vus en deux étapes d'une heure chacune. Tout au long de la session, les auteurs de ce rapport ont analysé les questionnaires d'examens dans le but de coter spatialement les questions ; ils ont ensuite distribué la note de l'élève selon chacune des cotes, puis consigné les résultats. À la fin de la session, les notes des élèves aux examens écrits et aux exercices de laboratoire de même que la note finale ont été recueillies et mises en relation avec les différentes mesures : variables indépendantes et covariables.

CHAPITRE 3

RÉSULTATS

Ce chapitre présente les principaux résultats qui permettent de répondre aux objectifs et de tester les hypothèses de recherche. La première partie est consacrée à une analyse des relations entre les différentes variables (spatiales et non-spatiales) mesurées dans cette étude. La seconde partie permet d'évaluer la relation entre l'expérience de la physique au collégial et la maîtrise de l'habileté spatiale. La troisième partie répond à l'objectif premier de cette étude, i.e., vérifier si le rendement dans un cours de physique au collégial est relié avec la maîtrise de l'habileté spatiale. Dans chacune des parties, nous expliquons d'abord la démarche d'analyse, nous décrivons et illustrons ensuite les résultats et nous complétons par une première interprétation de ces résultats. Ce chapitre se termine en reprenant les points saillants qui émergent des résultats.

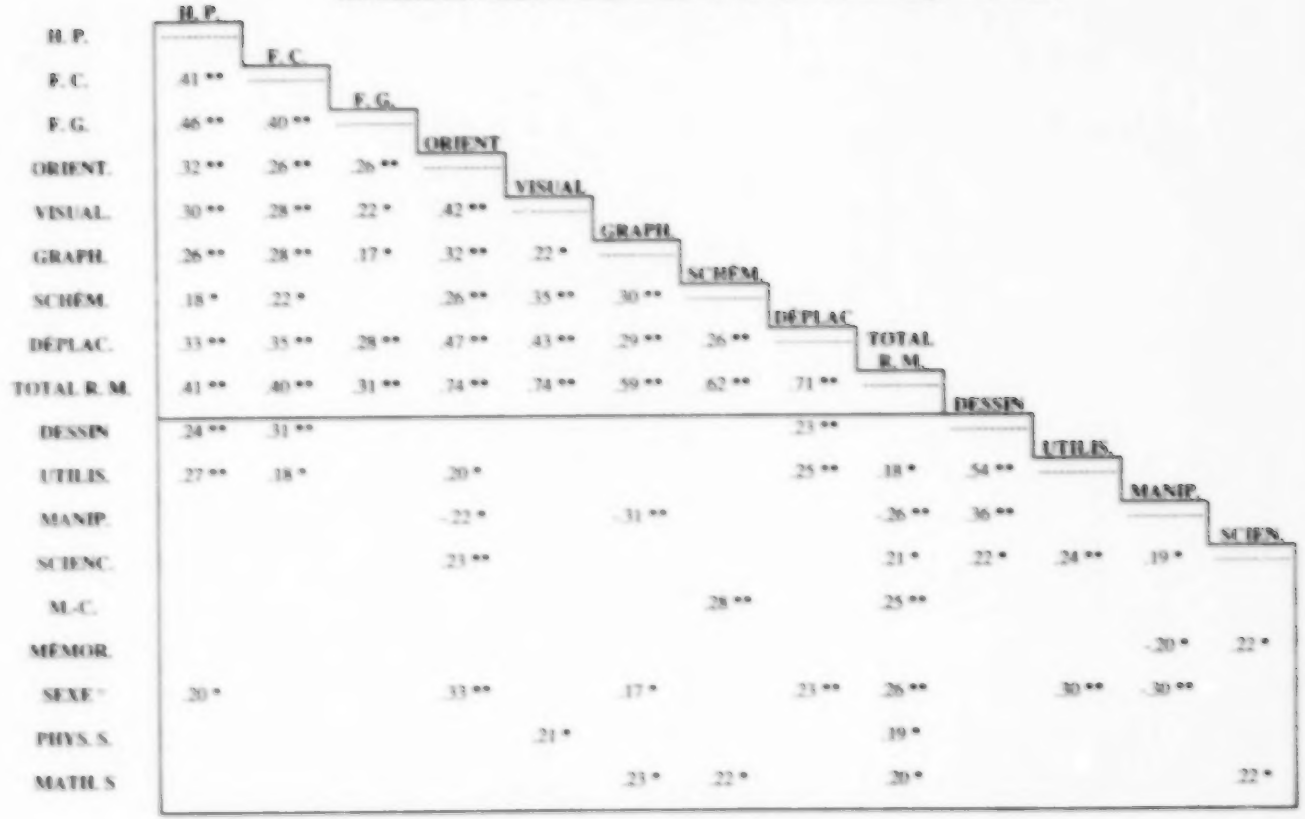
3.1 Relations entre les variables étudiées dans ce projet

Le premier objectif doit nous amener à vérifier les relations existant entre les dimensions de l'habileté spatiale et leurs liens avec certaines variables telles la perception qu'a l'élève de sa compétence, la tendance à mémoriser en préparant un examen de physique, la compréhension des mots-clés, le sexe et l'expérience en physique et en mathématiques au secondaire. Pour répondre à cet objectif de recherche, des corrélations de Pearson entre toutes les variables spatiales et entre celles-ci et les variables non-spatiales ont été calculées. Le tableau 10 présente les résultats de cette démarche. La partie du haut regroupe les mesures d'habiletés spatiales. Elles sont toutes en corrélation positive entre elles à l'exception de la relation F.G.-SCHÉM.

Les corrélations les plus fortes sont obtenues entre les différentes dimensions du test de représentation mentale entre elles (R.M.) de même que pour les 3 épreuves d'habiletés spatiales (H.P., F.C. et F.G.). Les corrélations les plus faibles sont celles obtenues entre les mesures F.G. et R.M.-SCHÉM, F.G. et R.M.-GRAPH., H.P. et R.M.-SCHÉM., F.C. et R.M.-SCHÉM. et R.M.-VISUAL. et R.M.-GRAPH.. Pour ces groupes de variables, il s'agit d'une mesure d'habileté spatiale pure liée avec une mesure d'habileté spatiale appliquée. Ce constat vient appuyer les structures d'habiletés définies dans cette étude et ainsi appuyer l'hypothèse 1.1 à savoir que les

TABLEAU 10

Corrélations entre toutes les variables mesurées et les tests d'habiletés spatiales (N=197)



	H. P.	F. C.	F. G.	ORIENT.	VISUAL.	GRAPH.	SCHÉM.	DÉPLAC.	TOTAL R. M.	DESSIN	UTILIS.	MANIP.	SCIENC.
H. P.													
F. C.	.41 **												
F. G.	.46 **	.40 **											
ORIENT.	.32 **	.26 **	.26 **										
VISUAL.	.30 **	.28 **	.22 *	.42 **									
GRAPH.	.26 **	.28 **	.17 *	.32 **	.22 *								
SCHÉM.	.18 *	.22 *		.26 **	.35 **	.30 **							
DÉPLAC.	.33 **	.35 **	.28 **	.47 **	.43 **	.29 **	.26 **						
TOTAL R. M.	.41 **	.40 **	.31 **	.74 **	.74 **	.59 **	.62 **	.71 **					
DESSIN	.24 **	.31 **						.23 **					
UTILIS.	.27 **	.18 *		.20 *				.25 **	.18 *	.54 **			
MANIP.				.22 *		.31 **			.26 **	.36 **			
SCIENC.				.23 **					.21 *	.22 *	.24 **	.19 *	
M.-C.							.28 **		.25 **				
MÉMOR.												.20 *	.22 *
SEXE *	.20 *			.33 **		.17 *		.23 **	.26 **		.30 **	.30 **	
PHYS. S.					.21 *				.19 *				
MATH. S						.23 *	.22 *		.20 *				.22 *

* : p < .01 ** : p < .001

* Pour la variable SEXE, une corrélation positive favorise les hommes
Pour la variable PHYS. S., une corrélation positive favorise les gens qui ont fait deux ans de physique au secondaire

résultats d'habiletés spatiales sont corrélés entre eux, les corrélations les plus élevées s'obtenant entre deux mesures appartenant à une même classification (habiletés spatiales pures ou appliquées). Il y aurait donc deux types d'habiletés spatiales mesurées : les habiletés spatiales pures, celles qui réfèrent à des comportements réels ou imaginaires associés à des manipulations d'objet dans un espace en deux ou trois dimensions et les habiletés spatiales appliquées, celles qui réfèrent à des productions qui traduisent une représentation mentale d'un contenu étudié en physique au collégial.

Les perceptions de compétence à dessiner des objets ou des croquis (DESSIN) et à utiliser des outils pour faire des croquis ou des plans (UTILIS.) sont positivement corrélées aux habiletés spatiales pures liées à la visualisation en trois dimensions (H.P.) et à la facilité d'extraire un élément de son champ perceptuel (F.C.). La maîtrise qu'a l'élève des tâches spatiales a probablement un effet sur la perception de sa compétence. Pour leur part, les perceptions de compétence à manipuler des objets avec goût (corrélation négative) et à comprendre et réussir des matières scientifiques (corrélation positive) sont surtout reliées aux scores d'habiletés spatiales appliquées. Alors que pour l'élève une perception positive de sa compétence scientifique aide à la réussite du test de représentation mentale, une perception positive de sa compétence artistique (manipuler avec goût) viendrait contrer la réussite de ce même test. Cette relation, bien que non-causale, décrit bien la dichotomie présente entre deux mondes de création : l'artistique et le scientifique.

Plusieurs relations entre la variable sexe et les dimensions spatiales (tant pour le domaine de la perception que pour celui des comportements) sont significatives. Les garçons réussissent mieux les épreuves d'habiletés perceptuelles (H.P.) et de représentation mentale (R.M.) que les filles. Ils se perçoivent plus compétents à utiliser des outils et à lire des plans dans le but de concevoir certains objets. Ils s'évaluent cependant moins aptes à manipuler des objets avec goût. Une analyse des relations entre les variables mesurées et les résultats scolaires obtenus au secondaire montre que les acquis en physique (PHYS. S.) sont liés à l'habileté de VISUALisation (être capable de modifier plus d'une donnée d'un problème et de comparer le résultat à l'énoncé initial). Le rendement en mathématiques au secondaire (MATH. S.) est relié aux habiletés GRAPHiques (être capable d'interpréter et de modifier des graphiques) et de SCHÉMatisation (être capable de représenter les énoncés d'un problème par des schémas). Il n'y a aucune relation entre les habiletés spatiales pures et la tendance à mémoriser et à comprendre les mots-clés dans une évaluation.

Les résultats présentés dans la partie inférieure du tableau 10 vont dans le sens de l'hypothèse 1.2. La perception de la compétence à réussir des tâches spatiales, l'expérience de la physique et les notes obtenues en mathématiques au secondaire ainsi que le sexe de l'élève (à l'avantage des garçons) sont toutes des variables reliées avec certaines dimensions de l'habileté

spatiale. Aussi, l'expérience de la physique et les résultats de mathématiques au secondaire sont exclusivement reliés aux habiletés spatiales appliquées à la physique.

3.2 Relation entre l'expérience de la physique au collégial et la maîtrise de l'habileté spatiale

Le second objectif vise à établir les liens entre l'expérience qu'aura l'élève de la physique au collégial et la maîtrise de l'habileté spatiale. Pour répondre à ce second objectif, nous avons comparé les moyennes de quatre groupes d'élèves : ceux qui n'ont complété aucun cours de physique au collégial, ceux qui n'ont réussi que le cours d'appoint physique 111, ceux qui ont complété et réussi la physique 101 et ceux qui ont complété et réussi la physique 201. Des tests d'analyse de variance suivis de comparaisons a posteriori (test de Student Newman-Keuls) permettent de vérifier la présence d'écarts significatifs. Les tableaux 11 et 12 présentent les moyennes et écarts types de chaque groupe pour chacune des habiletés spatiales mesurées dans cette étude.

TABLEAU 11

Moyennes et écarts types aux tests d'habiletés spatiales pures en fonction des cours de physique déjà suivis au collégial

	H.P.		F.C.		F.G.	
Groupes	$\bar{X}$	s	$\bar{X}$	s	$\bar{X}$	s
A- Aucun cours	20.5	7.8	11.3	4.8	18.9	5.5
B-111 seulement	22.6	6.6	11.2	5.5	18.2	4.9
C-101 seulement	21.8	7.8	13.4	4.4	17.6	5.6
D-101 et 201	19.7	7.7	12.4	5.3	19.4	5.2
Effets	n.s.*		n.s.		n.s.	

* : n.s. signifie que les différences entre les moyennes ne sont pas significatives.

TABLEAU 12

Moyennes et écarts types aux tests d'habiletés spatiales appliquées (R. M.) en fonction des cours de physique déjà suivis au collégial

	ORIENT.		VISUAL.		DÉPLAC.		GRAPH.		SCHÉM.		TOTAL	
Groupes	$\bar{X}$	s	$\bar{X}$	s	$\bar{X}$	s	$\bar{X}$	s	$\bar{X}$	s	$\bar{X}$	s
A- Aucun cours	2.3	1.6	3.8	1.7	2.3	1.4	1.7	1	2.8	1.4	13	5.1
B-111 seulement	1.8	1.3	4.5	1.8	2.9	1.7	1.5	1.2	3.5	1.4	14.1	4.2
C-101 seulement	2.5	1.9	4.4	1.8	2.9	1.5	2.6	1.3	3.8	1.4	16.2	5.6
D-101 et 201	3	1.9	4.8	1.4	3.2	1.2	2.5	1.5	4.3	1.3	17.9	4.9
Effets	D > B		n.s.		n.s.		C, D > A, B		B,C,D > A		C,D > A D > B	
	p<.05						p<.05		p<.05		p<.05	

Il n'y a aucune différence significative entre le rendement dans les épreuves d'habiletés spatiales pures des quatre groupes. L'expérience de la physique au collégial ne serait pas reliée à la maîtrise d'habiletés spatiales pures. Le portrait est différent lorsque la mesure porte sur les aptitudes de représentation mentale appliquée à la physique. Les élèves qui n'ont aucune expérience de la physique sont ceux qui ont beaucoup de difficulté à schématiser et à interpréter ou modifier des graphiques. Ils sont différents de tous les autres groupes quant à leur capacité de schématiser mais ne diffèrent pas des élèves qui ont réussi et complété le cours d'appoint physique 111 quant à leur capacité d'interpréter et de modifier des graphiques. Les élèves qui ont réussi le cours d'électricité et magnétisme (201) sont ceux qui présentent les meilleures habiletés d'orientation spatiale. Ils diffèrent statistiquement des élèves qui n'ont que complété et réussi le cours d'appoint (111).

Il semble donc que l'expérience de la physique intervienne dans la capacité des élèves à faire des productions qui traduisent leur représentation mentale des notions de base de la physique. Cette relation n'existe plus lorsque l'aptitude cognitive est mesurée par les épreuves d'habiletés spatiales pures. Les figures 2 et 3 illustrent les scores de chaque groupe aux quatre épreuves d'habiletés spatiales.

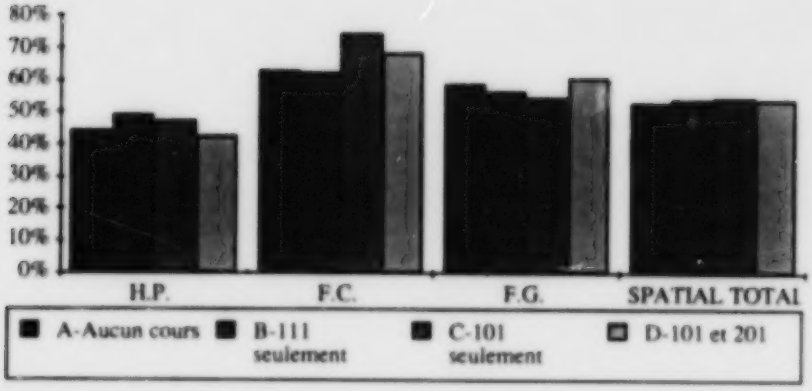


FIGURE 2 : Illustration du pourcentage de réussite dans les divers tests d'habiletés spatiales pures en fonction des cours déjà suivis en physique au collégial.

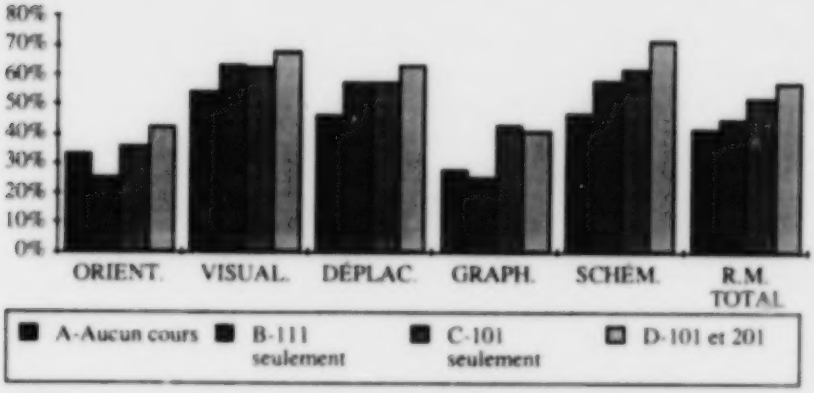


FIGURE 3 : Illustration du pourcentage de réussite dans les divers tests d'habiletés spatiales appliquées en fonction des cours déjà suivis en physique au collégial.

On peut y voir clairement que les performances dans le test de représentation mentale augmentent en fonction de l'expérience acquise de la physique au collégial. Le rendement dans les autres épreuves semble varier aléatoirement. Les résultats laissent croire que les hypothèses reliées au second objectif sont en partie confirmées. Les élèves qui ont réussi plus de cours de physique présentent de meilleures habiletés spatiales appliquées. Les élèves qui ont réussi le cours de physique 111 ont une capacité de représentation mentale plus forte que ceux qui n'ont aucun cours de physique à leur actif. Cette différence n'est cependant pas significative.

3.3 Relation entre la réussite de la physique au collégial et la maîtrise de l'habileté spatiale

Dans cette partie du chapitre 3, nous exposons les résultats qui permettent de vérifier l'objectif principal de la recherche, celui de vérifier la relation entre le rendement scolaire en physique et la maîtrise de l'habileté spatiale. Pour ce faire, nous comparons les performances spatiales (pures et appliquées) avec les scores obtenus dans les autres variables en fonction de deux facteurs : la note finale obtenue dans le cours de physique et le sexe de l'élève. Pour les élèves de physique 101, la note finale se présente sous trois catégories : forte, faible ou abandon/échec. Pour les élèves de 201 et 301, la catégorie échec/abandon n'est pas analysée à cause du trop petit nombre de sujets qu'on y retrouve. Nous débutons par une analyse séparée de chaque échantillon (101, 201 et 301) et nous complétons par une analyse globale. Pour chaque démarche, le devis statistique est le même. Une analyse de variance pour un plan à deux facteurs (la note finale et le sexe) est effectuée pour chacune des variables étudiées (spatiales et autres). L'effet simple "note finale" et l'effet d'interaction "note finale X sexe" sont ceux qui nous intéressent. L'effet "sexe" n'est pas interprété puisqu'il a déjà fait l'objet d'une analyse dans l'étude des corrélations de la section 3.1. Ensuite, nous identifions parmi les variables significatives, celles qui sont les meilleurs indicateurs de la note finale. La régression multiple est la méthode statistique utilisée à cette fin. Lorsqu'un élève présente un abandon à son dossier, la note 35 % lui est attribuée.

Dans le chapitre méthodologie, nous avions présenté sept critères pour définir la réussite en physique. Outre la note finale, les analyses devaient porter sur les résultats aux exercices de laboratoire, aux examens et aux questions d'examens à contenu essentiellement spatial (cote 4), à fort contenu spatial (cote 3), à faible contenu spatial (cote 2) et sans contenu spatial (cote 1). Deux raisons nous amènent à ne pas présenter le résultats de l'analyse de ces critères. Premièrement, les corrélations entre la note finale et ces indicateurs sont trop élevées. Il devient impossible de différencier la valeur de ces indicateurs par rapport à la note finale. Deuxièmement, les corrélations

entre les cotes (1 à 4) et les scores d'habiletés spatiales suggèrent plusieurs incohérences dans la catégorisation des questions d'examens. Elles soulèvent un doute important quant à la validité de la catégorisation que nous avons tenté de faire. Pour ces raisons, nous ne présentons que les analyses portant sur la note finale. Une partie de la discussion du chapitre 4 tentera d'expliquer pourquoi nous sommes arrivés à de tels résultats.

3.3.1. Variables associées à la réussite ou à l'échec en physique mécanique

Les élèves de 101 n'ont pas tous eu le même professeur(e) pendant la session. Parce que leurs évaluations étaient différentes, et probablement aussi leurs enseignements, nous avons analysé la note finale standardisée plutôt que la note finale brute. Cette transformation permet d'évaluer le rendement de chaque élève en fonction de son groupe-classe.

Le tableau 13 rapporte les différences entre les groupes d'élèves ayant suivi le cours de mécanique 101. Tout d'abord, au niveau des habiletés spatiales pures, les différences n'apparaissent que chez les hommes. Les étudiantes, qu'elles soient fortes ou faibles en physique mécanique possèdent des habiletés spatiales pures équivalentes (figure 4). Par contre, les garçons qui réussissent avec de fortes notes en physique mécanique sont supérieurs aux étudiants faibles dans les tâches de reconstitution de figures géométriques (F.G.), dans les tâches de désemboîtement de l'information visuelle (F.C.) et par le fait même dans la variable SPATIAL TOTAL. De plus, dans presque tous les cas (voir figure 4), les étudiants qui ont échoué ou abandonné le cours réussissent aussi bien, au niveau des habiletés spatiales pures, que ceux qui ont obtenu les notes les plus fortes.

Parmi les variables mesurées dans le test de représentation mentale appliquée à la physique, trois d'entre elles sont reliées à la réussite en physique mécanique : l'habileté à déterminer la position d'un objet, après que l'objet ou l'observateur ait bougé (ORIENT.), l'habileté à représenter l'énoncé d'un problème par un schéma (SCHÉM.) et l'habileté à interpréter ou modifier un graphique (GRAPH.). La variable ORIENTation se comporte comme les variables spatiales pures. Cette fois, les élèves, filles ou garçons qui échouent ou abandonnent, ont une capacité d'orientation aussi développée que ceux qui sont les élèves forts en physique. Les plus faibles en physique sont aussi les plus faibles en orientation. La figure 5 montre que les garçons forts en physique utilisent mieux les schémas et les graphiques que les autres étudiants faibles ou ayant échoué ou abandonné.

TABLEAU 13

Moyennes et écarts types des résultats obtenus par les groupes d'élèves forts, faibles ou échouant le cours de physique 101, pour chacune des variables mesurées.

Variables étudiées	Forte (F) H n = 20 $\bar{X}$	Forte (F) H n = 20 s	Forte (F) F n = 20 $\bar{X}$	Forte (F) F n = 20 s	Faible (f) H n = 16 $\bar{X}$	Faible (f) H n = 16 s	Faible (f) F n = 23 $\bar{X}$	Faible (f) F n = 23 s	Ech./AB. (E.A.) H n = 16 $\bar{X}$	Ech./AB. (E.A.) H n = 16 s	Ech./AB. (E.A.) F n = 20 $\bar{X}$	Ech./AB. (E.A.) F n = 20 s	Différences significatives
Spatiales pures													HF >Hf*
F. G.	21,2	4,7	19,4	4,1	17,0	3,9	20,0	5,5	20,4	6,9	18,0	5,0	
H. P.	25,6	9,9	20,9	7,5	19,9	8,5	20,0	6,0	23,6	9,7	20,2	5,9	
F. C.	13,4	4,5	11,3	3,9	9,2	5,5	11,9	3,9	13,9	4,3	9,3	5,6	HF, HE.A. > Hf **
TOTAL SPATIAL	60,1	15,4	51,5	12,2	46,1	13,8	51,9	12,4	57,9	19,1	47,5	10,6	HF, HE.A. > Hf **
Spatiales appliquées													
VISUAL.	4,3	2,4	3,6	1,7	3,6	1,4	4,4	1,6	4,4	1,5	3,7	1,7	
ORIENT.	3,0	1,7	2,1	1,5	2,0	1,4	1,2	1,1	2,8	1,7	1,8	1,4	F, E.A. > f **
SCHÉM.	4,2	1,3	3,1	1,4	3,1	1,4	2,9	1,3	2,6	1,7	3,0	0,8	F > E.A. ** et HF > Hf, HE.A. ***
GRAPH.	2,5	1,5	1,6	1,0	1,5	1,3	1,4	0,7	1,6	1,0	1,6	0,9	F > f, E.A. *
DÉPLAC.	3,2	1,2	1,9	1,6	2,8	1,2	2,5	1,2	2,9	1,4	2,5	1,8	
TOTAL R. M.	17,2	5,9	12,4	4,6	13,1	4,3	12,5	2,8	14,2	4,0	12,6	4,8	
Compétence perçue													
UTILIS.	20,3	3,5	16,5	3,9	19,3	4,3	17,2	3,5	20,0	3,7	16,7	3,6	
DESSIN	18,9	4,5	17,4	4,2	16,7	4,5	17,4	4,4	20,6	3,7	18,4	3,8	E.A. > f *
MANIP.	11,2	2,6	12,9	2,1	11,6	2,3	13,1	1,6	13,1	1,9	12,9	1,8	HE.A. > HF *
SCIENC.	21,1	2,4	19,7	2,2	19,5	2,2	19,1	2,7	19,4	2,9	19,5	1,6	
Autres variables													
MÉMOR.	18,8	2,6	15,9	2,3	17,2	4,0	16,9	2,3	16,3	3,6	16,1	2,6	
M.-C.	11,2	2,0	10,3	1,6	10,8	1,8	10,8	1,8	10,6	1,9	9,9	2,3	
MATH. S.	83,9	8,7	87,1	8,9	81,0	11,0	84,8	7,8	77,9	8,0	73,9	7,2	Ff > E.A.***
# PHYS. S.	72%				66%				56%				

*** $p < .01$

** $p < .05$

* $p < .10$

: pourcentage des élèves ayant suivi 2 années de physique au secondaire

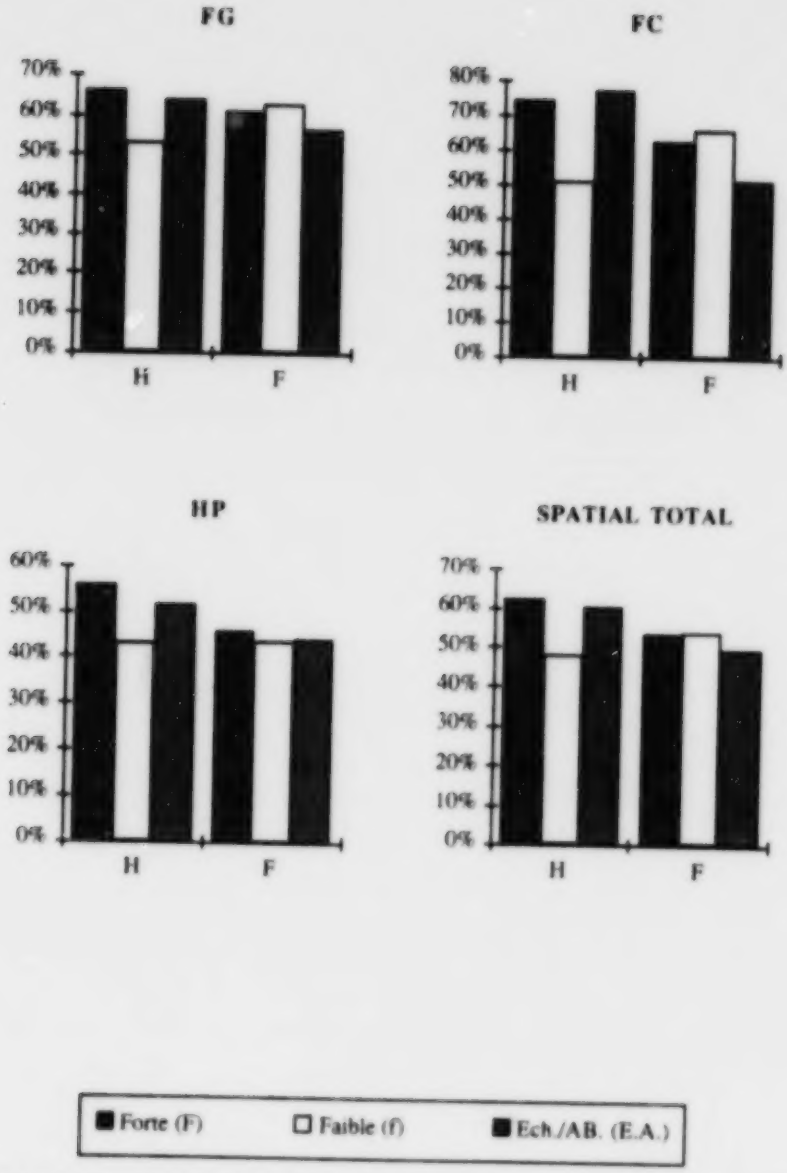


FIGURE 4. Graphiques représentant les scores obtenus (en %) aux différents tests d'habiletés spatiales pures en fonction de la note finale en physique 101 pour les hommes et les femmes.

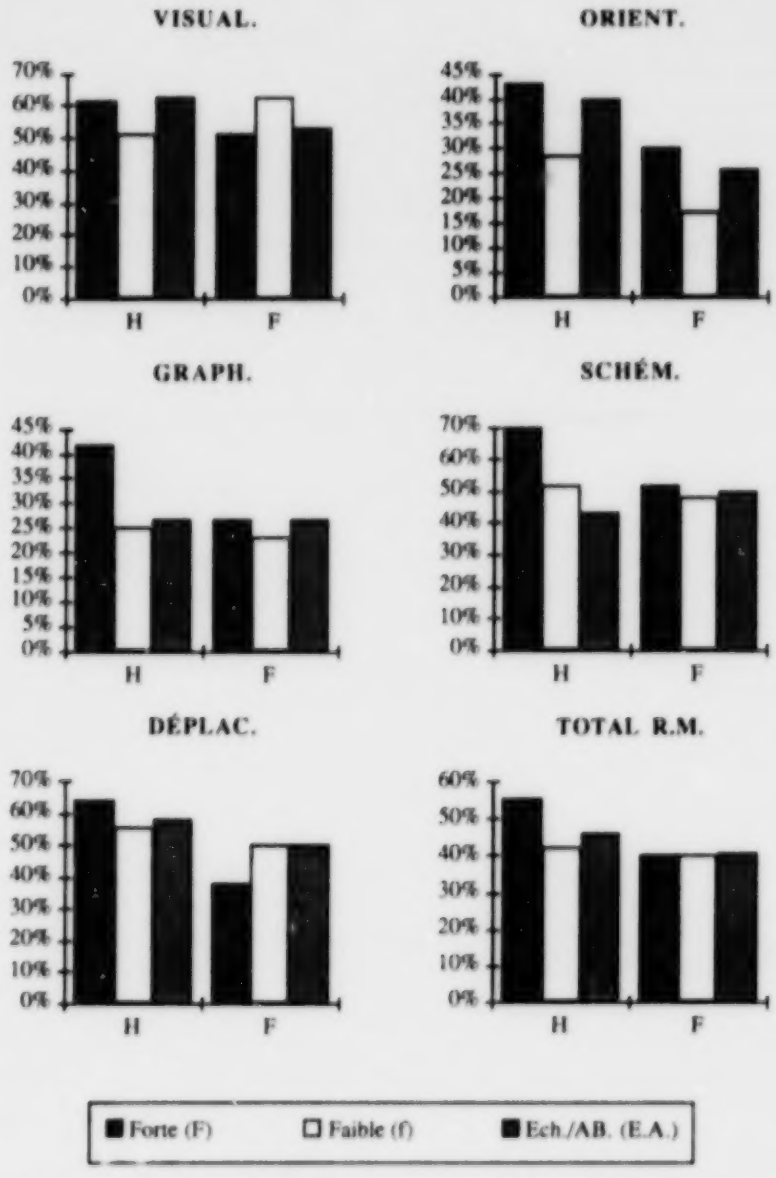


FIGURE 5. Graphiques représentant les scores obtenus (en %) aux différents tests d'habiletés spatiales appliquées en fonction de la note finale en physique 101 pour les hommes et les femmes.

L'autre catégorie de variables concerne la "perception de ses compétences spatiales". Les élèves qui échouent ou abandonnent la physique se sentent plus compétents à dessiner et à faire des croquis et des plans que ceux qui réussissent avec de faibles notes. Les hommes du groupe E.A. se perçoivent compétents dans l'agencement d'objets avec goût alors que ceux qui réussissent bien en physique sont les plus faibles par rapport à cette dimension.

Finalement, le tableau 13 nous permet de constater que les gens qui échouent ou abandonnent le cours de physique mécanique sont plus faibles en mathématiques au secondaire que ceux qui réussissent le cours. Les garçons qui échouent avaient en moyenne une note de 78% en mathématiques ; les femmes étaient un peu plus faibles, avec une moyenne de 74%.

3.3.1.1 Modèle de prédiction de la note finale en physique mécanique

Le tableau 14 apporte des données supplémentaires sur le poids relatif des variables pré-identifiées dans le tableau 13 en ce qui concerne la prédiction de la note finale en physique mécanique. Le modèle complet explique 30,5% de la variance des notes. L'indicateur le plus puissant de la réussite est la note finale obtenue en mathématiques 534 au secondaire. Les autres variables ayant un poids significativement important sont : la capacité de faire des schémas et de représenter les forces agissantes, la capacité d'agencer des objets avec goût et le sexe de l'élève. Plus l'élève est fort dans la variable SCHÉM. plus il a de chance de bien réussir. Moins l'élève se perçoit habile à manipuler des objets avec goût, plus il réussit en physique 101. Les filles, à rendement égal sur les autres variables, réussissent mieux que les garçons.

3.3.1.2 Interprétation des résultats en physique mécanique 101

En premier lieu nous traiterons des caractéristiques des élèves susceptibles d'échouer ou d'abandonner la physique mécanique. Parmi toutes les variables mesurées dans cette étude, celle qui permet le mieux de prédire un échec ou un abandon en physique 101, est la note en mathématiques 534 au secondaire. Les acquis en mathématiques sont très importants. En fait, cette observation ne vient que confirmer ce que l'on sait depuis longtemps. Il est quand même intéressant de noter que les mathématiques sont plus importantes que le fait d'avoir fait plus ou moins de physique au secondaire.

TABLEAU 14

Importance relative des variables étudiées dans la prédiction de la note finale en physique 101 (scores standardisés)

Variables étudiées	Bêta	t	Sign.
F. G.	0.04	0.30	
F. C.	-0.05	-0.36	
SPATIAL TOTAL	0.00	0.00	
ORIENT.	0.02	0.20	
SCHÉM.	0.16	1.70	*
GRAPH.	0.06	0.70	
MANIP.	-0.14	-1.26	**
DESSIN	-0.07	-0.60	
MATH. S.	0.40	4.20	***
SEXE	0.17	1.70	*

*** $p < .01$
** $p < .05$
* $p < .10$

R^2 du modèle complet = 30.5 %
R^2 des variables significatives = 27.7 %

Contrairement à ce qui était anticipé, les habiletés spatiales pures ou générales n'interviennent pas dans la prédiction d'un échec ou d'un abandon. Il se peut que les écarts entre les sujets de notre échantillon ne soient pas assez importants pour pouvoir observer le rôle de ces habiletés. Cependant, il est plus probable que la compréhension de la physique mécanique ou les formes d'évaluation des professeurs fassent peu appel à ces habiletés de base. Par contre, certaines faiblesses dans les habiletés spatiales appliquées à la physique semblent contribuer à l'échec ou à la décision d'abandonner le cours. Les élèves qui ne réussissent pas le cours auraient de la difficulté à élaborer des schémas pour représenter les énoncés des problèmes, ils pourraient aussi avoir de la difficulté à bien tracer les différents vecteurs. Ces élèves à risque se distinguent aussi par une faiblesse dans l'utilisation des données d'un graphique. On remarquera que ces deux dernières habiletés sont passablement différentes des habiletés spatiales pures mesurées dans cette étude. En effet, les corrélations entre ces habiletés appliquées et les habiletés générales sont relativement faibles (voir tableau 10). Les examens de physique, qui comptent pour 80 % de la note finale, font effectivement appel à la capacité de schématiser des situations décrites dans les énoncés de

problèmes. L'élève doit fréquemment construire des graphiques sommaires, bien choisir ses axes, pour effectuer ensuite des calculs mathématiques.

Les gens qui abandonnent ou échouent ont aussi des forces. Ils considèrent qu'ils ont des aptitudes en dessin et les hommes ont un certain sens artistique, soit celui d'agencer des objets avec goût. Les garçons qui échouent ont aussi de très bonnes habiletés spatiales générales ou appliquées, exceptées SCHÉM. et GRAPH.. Mais ces forces ne sont pas suffisantes pour permettre à l'étudiant de réussir son cours de physique mécanique avec la note de passage. On pourrait même croire que, pour les hommes, une faiblesse en mathématiques associée à de bonnes habiletés spatiales pourrait conduire à un désintérêt pour le cours de physique et amener l'étudiant à s'orienter autrement. Ne possédant pas les acquis mathématiques nécessaires à la réussite en physique mais se sachant doté d'autres aptitudes, l'étudiant pourrait décider de s'orienter différemment, ce qui se traduirait par un plus grand nombre d'abandons déclarés ou non.

Les résultats suggèrent que pour obtenir la note de passage en physique mécanique il faut d'abord avoir une bonne base en mathématiques et avoir développé certaines habiletés particulières de schématisation et d'utilisation de graphiques.

Dans un deuxième temps nous ne considérerons que les gens ayant réussi le cours. Existe-t-il des différences entre les gens qui réussissent bien et ceux qui obtiennent de faibles notes ? Si on considère les sujets des deux sexes, les deux groupes (F et f) diffèrent sur deux aspects seulement. Les forts en physique possèdent une meilleure aptitude à déterminer la position d'un objet après qu'il ait été manipulé (ORIENT.). Il s'agit donc là d'une habileté qui n'est pas essentielle à la réussite puisque les gens qui échouent sont aussi forts par rapport à cet aspect, mais elle contribue à augmenter la performance en facilitant peut-être la compréhension de certains principes dans le mouvement des objets. Les forts sont également supérieurs dans la modification et l'interprétation de GRAPHiques. Mais, pour ce dernier facteur, il faut redoubler de prudence dans l'interprétation. L'observation de la figure 5 nous apprend que les différences sont prépondérantes surtout chez les garçons.

D'ailleurs, les différences entre forts (F) et faibles (f) se manifestent avant tout chez les hommes. Les hommes faibles en physique mécanique possèdent des connaissances mathématiques suffisantes mais des habiletés spatiales générales ou appliquées plutôt faibles. Les graphiques des figures 4 et 5 illustrent bien cette faiblesse généralisée. On peut donc conclure, pour la population des garçons en physique 101, que la maîtrise des habiletés spatiales augmente la performance mais

que les habiletés mathématiques sont, elles, nécessaires et même suffisantes pour assurer la note de passage.

La situation est différente pour les femmes. Ces dernières réussissent généralement mieux que les hommes et ce ne sont pas les variables que nous avons mesurées qui en sont responsables. Les habiletés spatiales sont, de façon générale, plus faibles chez les filles ; nous l'avons démontré dans la section 3.1. Elles n'ont cependant aucun effet sur la réussite de celles-ci. Les variables affectant la performance des filles sont probablement d'un autre ordre. Dans la performance des filles interviennent peut-être des variables telles que la maîtrise des techniques d'étude, la priorité accordée aux études, l'entraide et la socialisation et même certaines habiletés verbales qui n'ont pas été mesurées dans cette étude.

Il semble donc que l'hypothèse 3.1 soit confirmée en partie seulement. En effet, la note finale de l'élève est corrélée avec certains résultats d'habiletés spatiales. Les scores d'habiletés spatiales appliquées à la physique sont ceux qui sont plus liés à la réussite. Les habiletés spatiales pures et appliquées sont plus liées à la note finale des hommes qu'à celle des femmes.

3.3.2 Relations entre les résultats en physique 201 et les variables étudiées

Consultons le tableau 15 : les élèves obtenant une note finale élevée en physique 201 (électricité et magnétisme) réussissent bien la plupart des items du test de la représentation mentale appliquée à la physique comparativement aux étudiants-es dont le résultat final est faible, (les garçons forts ayant tendance à mieux réussir que les autres élèves, selon ce qu'indique la figure 7). S'agit-il de modifier plus d'une donnée d'un problème, puis de comparer le résultat à l'énoncé initial, ces élèves forts en physique sont très habiles à effectuer cette tâche de VISUALisation. En second lieu, ces mêmes élèves interprètent et modifient très facilement un GRAPHique. Aussi, sont-ils habiles à représenter l'énoncé d'un problème par un SCHÉMa, incluant au besoin des illustrations de forces. De même, ils déterminent aisément la position d'un objet, après que cet objet ou l'observateur ait bougé, opération que nous avons précédemment appelée ORIENTation. Ces élèves sont donc également plus forts en ce qui a trait au TOTAL R. M. (représentation mentale), cet élément regroupant tous les items cités ci-dessus, plus un.

TABLEAU 15

Moyennes et écarts types des résultats obtenus par les groupes d'élèves forts et faibles dans le cours de physique 201, pour chacune des variables étudiées.

Variables étudiées	Forte (F) H n = 6 $\bar{X}$	Forte (F) H n = 6 s	Forte (F) F n = 13 $\bar{X}$	Forte (F) F n = 13 s	Faible (f) H n = 10 $\bar{X}$	Faible (f) H n = 10 s	Faible (f) F n = 8 $\bar{X}$	Faible (f) F n = 8 s	Différences significatives
Spatiales pures									
F. G.	19,4	2,1	19,9	6,4	17,6	6,8	19,0	5,5	
H. P.	25,2	5,3	19,9	6,8	25,1	9,0	20,4	5,3	
F. C.	15,2	3,6	13,6	4,5	15,0	3,3	10,0	6,3	
SPATIAL TOTAL	59,8	8,5	51,5	14,8	57,7	15,4	47,4	10,6	
Spatiales appliquées									
VISUAL.	6,3	0,8	4,5	1,7	4,0	2,2	2,9	1,5	F > f ***
ORIENT.	4,0	1,7	2,5	1,8	2,5	2,3	1,6	0,7	F > f *
SCHÉM.	4,7	0,8	4,4	1,0	3,8	1,1	2,5	1,3	F > f *
GRAPH.	5,3	1,2	2,3	1,0	2,4	0,7	1,6	1,4	F > f **
DÉPLAC.	4,2	0,9	2,5	1,7	2,5	1,3	2,4	1,6	
TOTAL R. M.	23,5	2,1	16,3	4,7	15,2	5,9	11,0	3,9	F > f *
Compétence perçue									
UTILIS.	19,8	2,5	16,8	4,3	19,0	3,2	18,8	1,8	
DESSIN	19,5	2,4	15,5	4,9	19,9	2,7	18,9	5,6	
MANIP.	9,8	1,1	13,2	2,4	12,0	1,5	12,4	2,3	Hf >HF*** et FF >Ff**
SCIENC.	21,0	2,7	21,7	2,6	20,4	2,5	18,9	1,6	F > f **
Autres variables									
MÉMOR.	19,2	2,8	19,5	3,7	18,7	3,2	15,6	3,6	F > f **
M.-C.	11,6	2,2	11,7	2,1	10,5	0,9	9,4	1,7	F > f ***
MATH. S.	96,5	3,7	91,9	5,8	88,8	8,5	90,3	4,6	F > f *
# PHYS. S.	tous				57%				F > f ***

*** $p < .01$ # : pourcentage des élèves ayant suivi 2 années de physique au secondaire

** $p < .05$

* $p < .10$

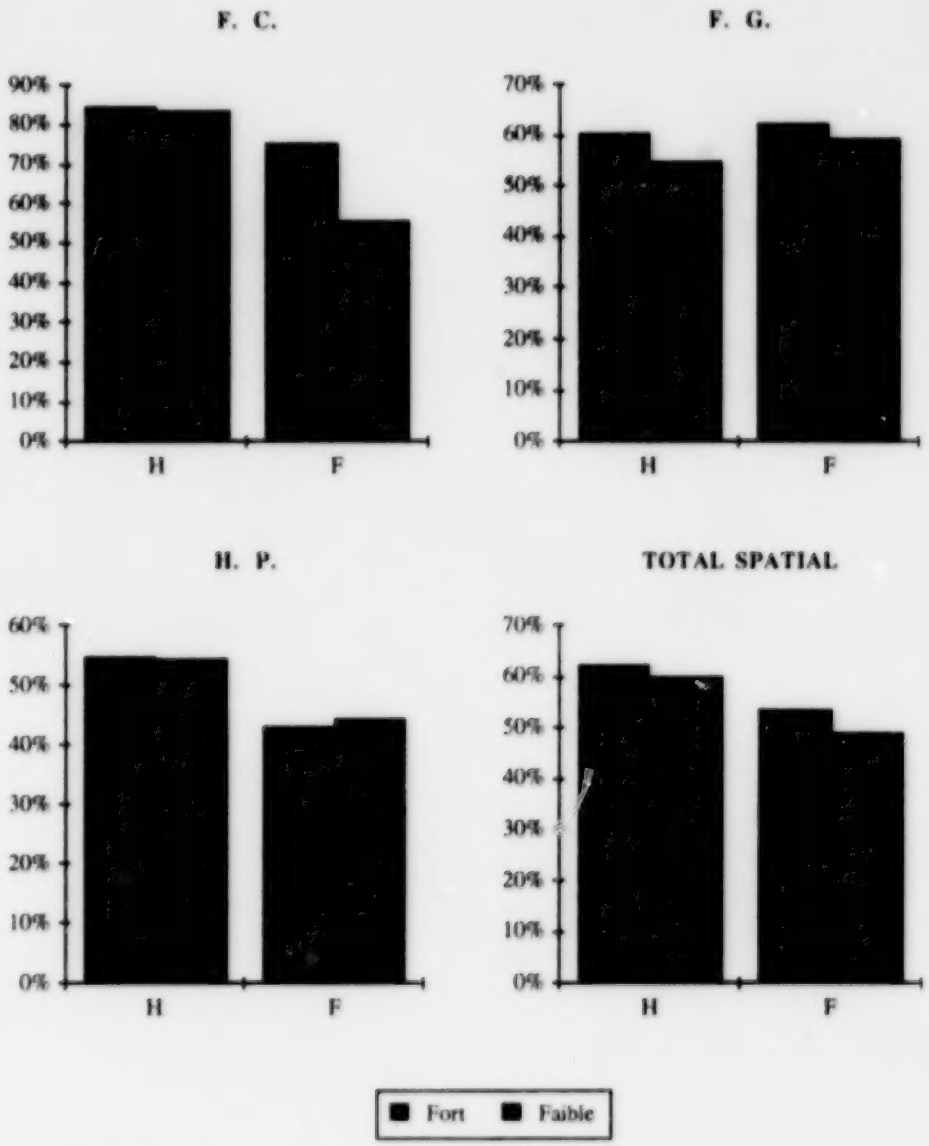


FIGURE 6. Graphiques représentant les scores (en %) aux différents tests d'habiletés spatiales pures en fonction de la note finale en physique 201 pour les hommes et les femmes.

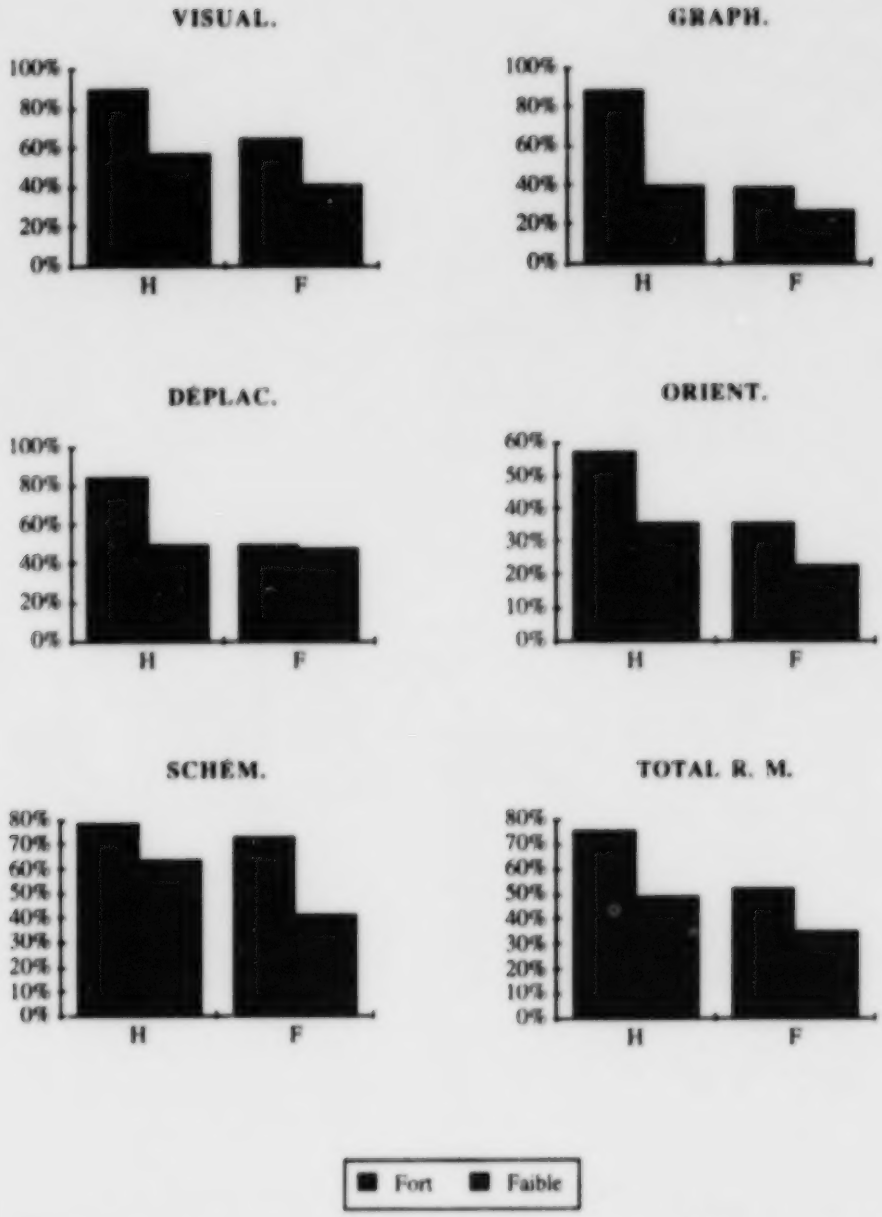


FIGURE 7. Graphiques représentant les scores obtenus (en %) aux différents tests d'habiletés spatiales appliquées en fonction de la note finale en physique 201 pour les hommes et les femmes.

En ce qui a trait à la perception de leur compétence, ces élèves qui réussissent bien leur cours de physique estiment avoir une bonne compréhension des SCIENCes ainsi que du succès dans ces matières (se perçoivent compétents à comprendre et réussir les matières scientifiques). Les garçons forts en physique cependant ne se disent pas habiles à MANIPuler les objets avec goût alors que les filles fortes en physique considèrent qu'elles sont compétentes en ce domaine.

D'autres données font ressortir le fait que les élèves qui ont de fortes notes dans leur résultat final en physique connaissent très bien la signification des mots-clés (M.-C.) fréquemment utilisés en physique ; ces personnes ont de plus tendance à MÉMORiser dans leur préparation aux examens de physique.

En outre, la totalité des élèves qui sont forts en électricité et magnétisme avaient suivi des cours de PHYSique pendant deux ans au secondaire. Fait à souligner, ceux qui obtiennent de bons résultats dans ce cours collégial ont eu d'excellentes notes en MATHématiques au secondaire.

3.3.2.1 Modèle de prédiction de la note finale

Le tableau 16 de prédiction de la note finale montre que les variables suivantes expliquent en très grande partie (58,2% !) la variance des résultats obtenus à la fin du cours d'électricité et magnétisme : note obtenue en MATHématiques au secondaire, SEXE (les filles devraient mieux réussir que les garçons), nombre d'années consacrées à l'étude de la PHYSique au secondaire, résultat obtenu dans les items ORIENTation et SCHÉMatisation du test de représentation mentale. Notons également que les variables mesurées et illustrées au tableau expliquent jusqu'à 65 % de la variance de la note finale !

3.3.2.2 Interprétation des résultats en physique 201

La très grande majorité des élèves qui ont suivi ce cours avaient d'excellents résultats en mathématiques au secondaire : ils maîtrisaient donc les mathématiques qui semblent si importantes dans l'obtention du succès en physique. Les acquis mathématiques étant présents, d'autres variables différenciaient les faibles des forts à l'intérieur de ce cours d'électricité et magnétisme : tous les élèves forts avaient un bagage de deux années de physique au secondaire ; les habiletés spatiales appliquées à la physique étaient de toute évidence un atout pour les forts puisque ces derniers ont obtenu des résultats nettement supérieurs à ceux des faibles dans le test de

TABLEAU 16

Importance relative des variables étudiées dans la prédiction de la note finale en physique 201

Variables étudiées	Béta	t	Sign.
ORIENT.	0.13	1.70	•
VISUAL.	0.11	0.40	
SCHÉM.	0.33	1.70	•
GRAPH.	0.29	1.20	
SCIENC.	-0.18	-1.10	
MÉMOR.	0.13	1.00	
M. - C.	-0.06	-0.40	
MATH. S.	0.40	2.40	••
SEXE	0.53	3.80	•••
PHYS. S.	0.29	1.90	•

••• $p < .01$
•• $p < .05$
• $p < .10$

R^2 du modèle complet = 65 %
R^2 des variables significatives = 58.2 %

représentation mentale (R. M.) ; ces personnes fortes en physique comprenaient bien le sens du vocabulaire utilisé dans les examens, mémorisaient pour se préparer à ces examens et avaient confiance en elles en ce qui a trait à la compréhension des sciences, i. e. se sentaient compétentes à comprendre les sciences.

À notre avis, ce cours exige beaucoup au niveau spatial : dès le début par exemple, l'élève doit imaginer le concept abstrait de champ électrique, puis se représenter mentalement les électrons microscopiques et plus tard dans la session, il est confronté au magnétisme, lequel fait constamment appel aux trois dimensions. Le contenu même du cours expliquerait donc la nécessité d'acquérir de bonnes habiletés spatiales afin de mieux réussir en électricité et magnétisme. Les aspects spatiaux le plus liés à la note finale en physique sont l'ORIENTation et la SCHÉMatisation, ce qui semble tout à fait logique puisque, par exemple, l'élève doit lire beaucoup de schémas dans le manuel, qu'il s'agisse d'un circuit électrique, d'un appareil sophistiqué, d'une représentation bi-dimensionnelle du champ magnétique. Il doit aussi dessiner des lignes de champ, des trajectoires de particules chargées, réaliser des montages de circuits électriques ; enfin, il doit s'orienter par rapport aux plans qu'il lit ou dessine (vues de face, latérale, ...), imaginer comment s'orientera telle

particule chargée sur laquelle agit une force magnétique. Enfin, la VISUALisation, si fortement corrélée à la note finale, semble un atout pour l'élève fort : nous croyons que l'acquisition de cette habileté spatiale complexe, parce qu'elle fait appel à la modification simultanée de plusieurs données spatiales d'un problème, est particulièrement difficile. Il est plausible que nos étudiants forts en mathématiques, donc moins préoccupés par l'aspect technique de la physique, aient développé cette habileté qui permet de mieux réussir.

Une bonne connaissance des mots-clés (M.-C.) utilisés aide à répondre aux exigences des examens : il y a donc tout lieu de croire que l'élève qui comprend la signification des mots-clés maîtrise bien la langue d'enseignement. Comme de nouvelles expressions, de nouveaux termes, de nouvelles unités sont présentés dans le cadre de ce cours, la compréhension du français ne peut qu'aider à distinguer résistance de résistivité, surface de Gauss de section d'un conducteur, différence de potentiel d'énergie potentielle, etc. Curieusement, aussi, le fait de mémoriser aide l'élève : nous croyons que la mémorisation des figures, des schémas du manuel joue un rôle puisqu'à partir de ces nouvelles connaissances spatiales emmagasinées, l'élève effectuera plus facilement des opérations et des produits spatiaux ; de plus, il se souvient mieux des termes nouveaux tels que Tesla, Gauss, capacité, cyclotron,... Y aurait-il lieu de penser que cette utilisation de la mémoire permet de se servir d'algorithmes pour résoudre les problèmes lors des examens ?

En bref, nous retenons que ce groupe d'étudiants-es présente un profil de réussite en physique où le spatial joue un rôle important.

3.3.3 Relations entre les résultats en physique 301 et les variables étudiées

Le tableau 17 et les figures 8 et 9 contiennent des renseignements pour le cours de physique 301 : optique et physique moderne. Nous y apprenons que les élèves forts en physique 301 déterminent facilement la position d'un objet, après que cet objet ou l'observateur ait bougé, ce que nous avons précédemment classé sous l'item ORIENTation. Fait à signaler encore une fois, ces gens qui obtiennent du succès en physique avaient de bonnes notes en MATHématiques au secondaire et plus spécialement, les garçons forts en physique étaient de façon non équivoque forts en MATHématiques au secondaire.

TABLEAU 17
Moyennes et écarts types des résultats obtenus par les groupes d'élèves forts et faibles dans le cours de physique 301, pour chacune des variables étudiées.

Variables étudiées	Forte (F) H n = 7 $\bar{X}$	Forte (F) H n = 7 s	Forte (F) F n = 10 $\bar{X}$	Forte (F) F n = 10 s	Faible (f) H n = 12 $\bar{X}$	Faible (f) H n = 12 s	Faible (f) F n = 5 $\bar{X}$	Faible (f) F n = 5 s	Différences significatives
Spatiales pures									
F. G.	21,3	4,6	19,2	4,5	20,4	7,3	18,6	3,6	
H. P.	19,6	9,5	19,9	5,8	20,2	8,2	17,6	8,2	
F. C.	12,1	4,3	10,7	5,2	11,2	6,2	14,6	5,6	
SPATIAL TOTAL	53,0	17,0	49,8	12,2	51,6	18,3	50,8	14,6	
Spatiales appliquées									
VISUAL.	4,6	2,1	5,5	0,7	4,7	0,9	4,0	2,2	
ORIENT.	4,0	2,5	2,1	1,2	3,4	1,3	1,0	1,2	F > f *
SCHÉM.	4,0	1,5	4,8	1,1	3,8	2,0	4,2	1,1	
GRAPH.	2,7	1,8	2,6	1,9	2,9	1,5	2,2	1,1	
DÉPLAC.	3,7	0,7	2,9	1,2	3,7	1,6	3,0	1,2	
TOTAL R. M.	19,9	7,1	17,2	3,4	18,4	5,2	14,4	4,3	
Compétence perçue									
UTILIS.	17,1	4,1	16,8	4,2	18,6	3,9	18,6	2,1	
DESSIN	17,3	3,5	17,8	4,7	15,6	4,8	19,8	3,7	
MANIP.	11,6	2,1	12,9	2,0	11,6	1,5	13,6	1,5	
SCIENC.	21,0	2,4	19,7	2,0	19,5	1,8	20,8	1,9	
Autres variables									
MÉMOR.	18,9	2,7	16,3	3,2	17,3	3,0	17,8	3,2	
M.-C.	12,3	1,5	11,4	2,4	10,9	2,2	11,0	2,1	
MATH. S.	92,7	7,3	87,9	5,1	82,8	2,3	89,3	5,7	F > f * ; HF > Hf ***
# PHYS. S.	nombre insuffisant de répondants								

*** $p < .01$
** $p < .05$
* $p < .10$

: pourcentage des élèves ayant suivi 2 années de physique au secondaire

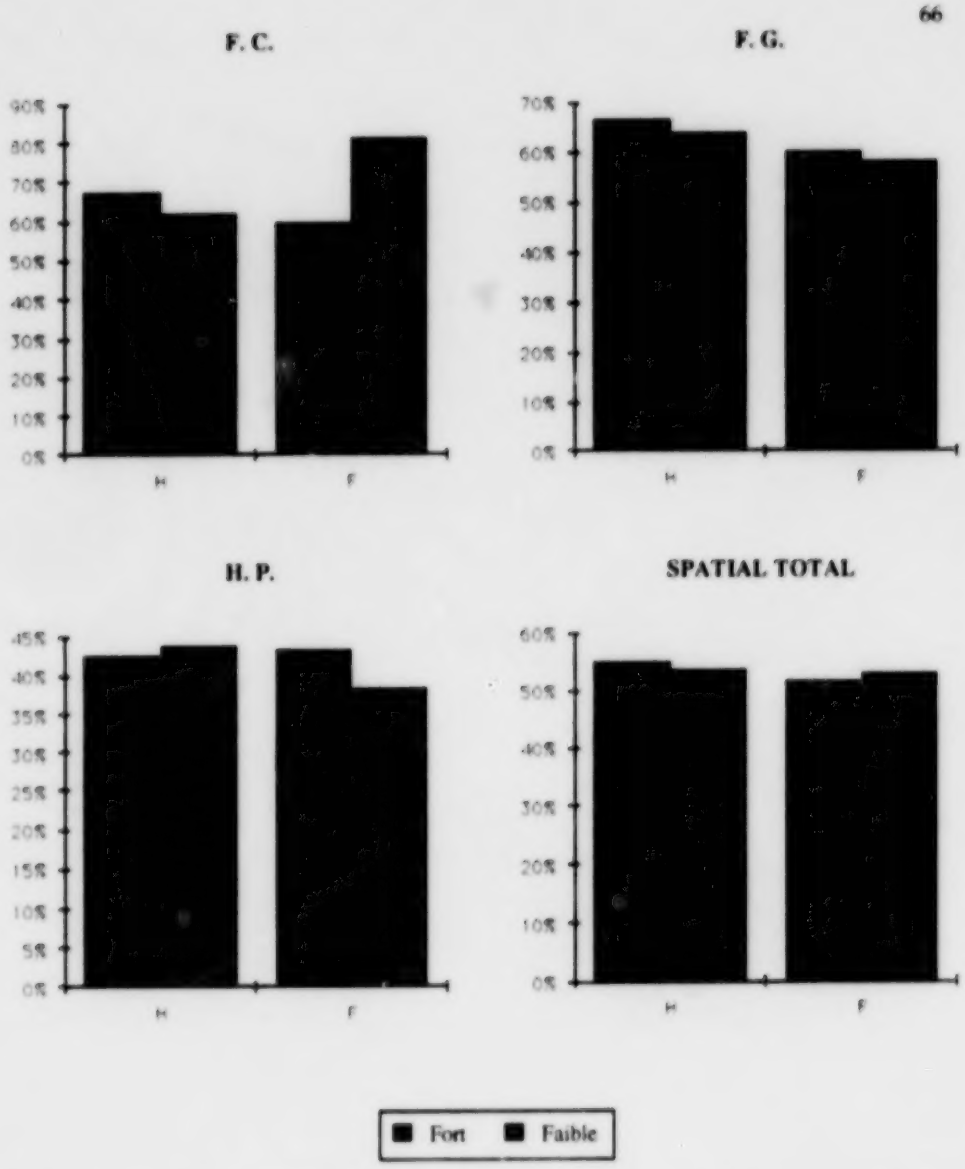


FIGURE 8. Graphiques représentant les scores (en %) aux différents tests d'habiletés spatiales pures en fonction de la note finale en physique 301 pour les hommes et les femmes.

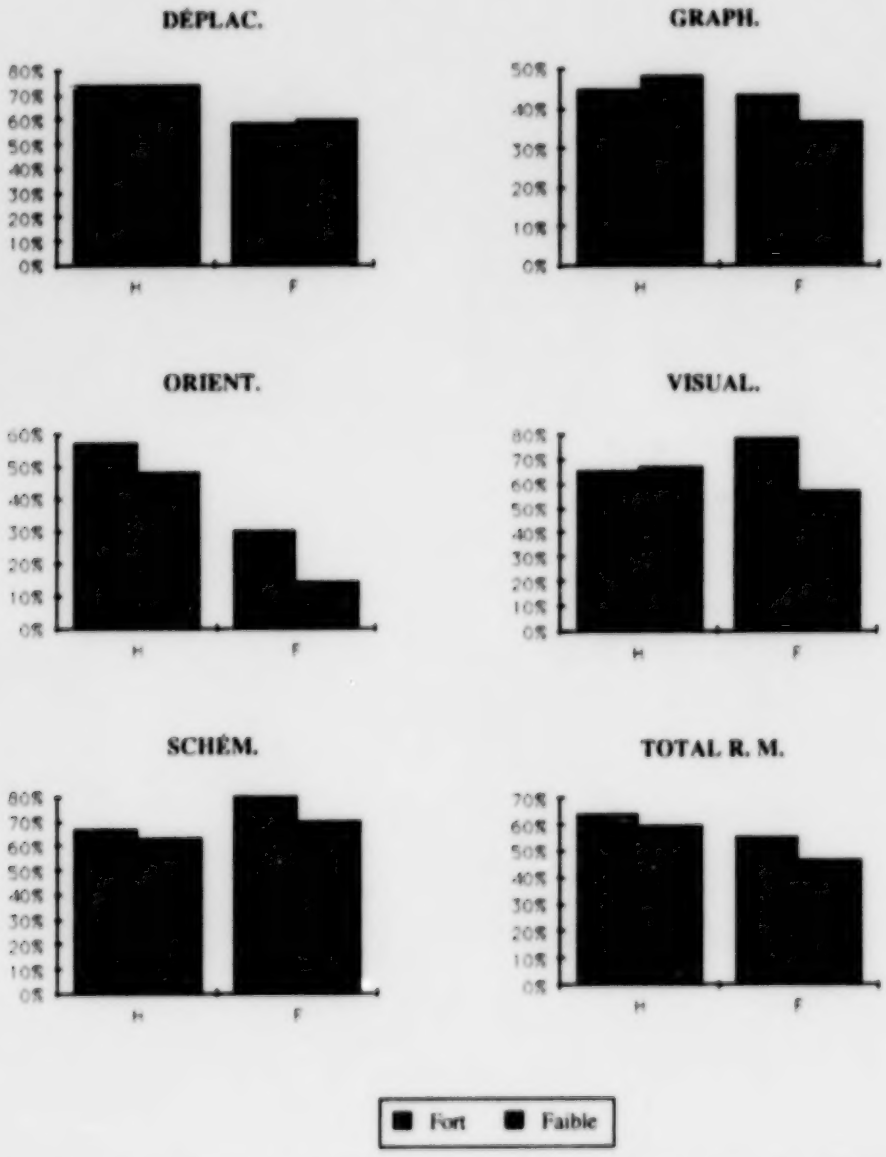


FIGURE 9. Graphiques représentant les scores obtenus (en %) aux différents tests d'habiletés spatiales appliquées en fonction de la note finale en physique 301 pour les hommes et les femmes.

3.3.3.1 Modèle de prédiction de la note finale en 301

La variable qui prédit le mieux le résultat final pour ce cours est la note cumulée dans le cours de MATHématiques au secondaire : 34% du résultat se trouve ainsi expliqué (voir le tableau 18).

TABLEAU 18

Importance relative des variables étudiées dans la prédiction de la note finale en physique 301

Variables étudiées	Bêta	t	Sign.
ORIENT.	0.10	0.40	
MATH. S.	0.57	3.10	***
SEXE	0.14	0.60	

*** $p < .01$

R^2 du modèle complet = 35 %
R^2 des variables significatives = 34 %

3.3.3.2 Interprétation des résultats en physique 301

À signaler que les garçons qui ont bien réussi ce cours étaient très forts en mathématiques au secondaire. L'écart entre les forts et les faibles en mathématiques, tant chez les filles que chez les garçons, s'est possiblement creusé au Collège, puisqu'ils ont dû suivre au moins deux autres cours de mathématiques au collégial ; nous n'avons pu mesurer cet effet. Nous savons que les examens de physique administrés aux élèves contenaient beaucoup d'opérations mathématiques à effectuer, ce qui expliquerait peut-être l'importance des mathématiques pour prédire le résultat en optique et physique moderne. Le fait que les mathématiques soit un "prédicteur" si important masque probablement la part que joue le spatial dans ce cours. La seule habileté spatiale qui semble différencier les forts des faibles en physique est l'ORIENTation. Mentionnons toute la partie du cours qui traite des phénomènes ondulatoires, donc de particules en mouvement, ainsi que la partie interférence et diffraction qui exige une reconnaissance du plan d'observation ainsi que la détermination de la figure obtenue suite à une modification d'une donnée, et nous comprendrons que l'habileté ORIENTation puisse jouer un rôle dans la réussite en physique.

3.3.4 Prédiction de la note finale en physique chez les élèves forts et les élèves faibles en mathématiques au secondaire

L'analyse comparative des résultats obtenus dans chaque échantillon (101, 201 et 301) montre que le rendement en mathématiques au secondaire joue un rôle important dans la prédiction de la réussite en physique. Nous avons aussi discuté de la tendance que semble avoir l'habileté spatiale à discriminer les élèves forts entre eux. En effet, les élèves de 201 sont ceux qui présentent les performances les plus élevées au secondaire et c'est dans cet échantillon que les effets sont les plus apparents. Les résultats présentés dans cette section ont pour but de répondre à une nouvelle hypothèse qui découle des analyses précédentes : l'habileté spatiale est une aptitude cognitive qui contribue de façon significative à expliquer la réussite des élèves qui possèdent déjà les acquis mathématiques à leur entrée au collégial. De façon opérationnelle, les variables spatiales auront un poids significativement plus importants que les variables non-spatiales pour prédire la réussite en physique des élèves forts en mathématiques. De même, les variables spatiales ne seront pas de bons indicateurs de la réussite en physique pour les élèves faibles en mathématiques. Pour répondre à cette hypothèse, nous comparons deux groupes d'élèves : les forts et les faibles en mathématiques au secondaire. Nous avons classé ces élèves à partir de la médiane de la distribution des notes obtenues en mathématiques 534. Cette analyse ne tient plus du tout compte du niveau de l'élève en physique (101, 201 ou 301). La régression multiple est la méthode exploitée pour identifier les indicateurs qui contribuent à la prédiction de la réussite. Les scores aux épreuves d'habiletés spatiales pures et appliquées, aux tests de compétence perçue, de mémorisation et des mots-clés sont les "prédicteurs" analysés. Les tableaux 19 et 20 présentent les résultats qui permettent de vérifier notre hypothèse.

Alors que la prédiction de la note des élèves forts dépend surtout de trois habiletés spatiales (les habiletés d'orientation, de schématisation et d'interprétation graphique), du sexe des élèves (les filles réussissent mieux que les garçons) et de la perception de leur compétence à utiliser des outils pour concevoir des plans (relation négative) , celle des élèves faibles s'explique par leur capacité d'identifier des mots-clés dans une évaluation, leur compétence à manipuler des objets avec goût (relation négative) et leur sexe (les filles réussissent mieux que les garçons). La variance expliquée par le modèle des forts est plus grande que celle expliquée par le modèle des faibles. Les variables spatiales jouent donc un rôle plus important chez les élèves forts en mathématiques. Elles prédisent plus efficacement la réussite des élèves forts que les habiletés non-spatiales peuvent prédire la réussite des élèves faibles. Ces résultats sont en concordance avec l'hypothèse que nous avons émise dans cette dernière partie du chapitre 3 et ils laissent croire que la capacité de représentation mentale est un indicateur de la performance pour les élèves qui ont déjà de bons

TABLEAU 19

Importance relative des variables étudiées dans la prédiction de la note finale en physique pour les élèves forts en mathématiques au secondaire (notes standardisées)

Variables étudiées	Bêta	t	Sign.
ORIENT.	0.20	2.10	**
SCHÉM.	0.20	2.00	**
GRAPH.	0.23	2.30	**
UTILIS.	-0.25	-2.60	***
SEXE	0.36	3.60	***

*** $p < .01$
** $p < .05$

R^2 des variables significatives = 27.1 %

TABLEAU 20

Importance relative des variables étudiées dans la prédiction de la note finale en physique pour les élèves faibles en mathématiques au secondaire (notes standardisées)

Variables étudiées	Bêta	t	Sign.
MANIP.	-0.27	-2.30	**
M. - C.	0.33	2.80	***
SEXE	0.21	1.70	*

*** $p < .01$
** $p < .05$
* $p < .10$

R^2 des variables significatives = 18.7 %

acquis en mathématiques. Les résultats suggèrent aussi que l'élève fort, s'il possède un répertoire d'aptitudes verbales et d'habiletés spatiales, va exploiter prioritairement les habiletés spatiales telles la schématisation, l'orientation spatiale et la lecture graphique pour accéder à la réussite. Les élèves qui n'ont pas su maîtriser suffisament les concepts mathématiques du secondaire doivent s'en remettre à certaines habiletés verbales puisque, seule, la maîtrise de l'habileté spatiale ne permet pas de comprendre et de réussir en sciences. C'est ce qui se dégage des résultats analysés dans cette partie du chapitre 3.

CHAPITRE 4

DISCUSSION

4.1 Synthèse du contexte théorique

Nous avons choisi dès le départ de concentrer notre recherche autour de l'habileté spatiale comme variable importante dans la réussite en physique au collégial tout en admettant la valeur d'autres facteurs moins intellectuels. Cette habileté constitue une catégorie particulière parmi les aptitudes mesurées dans les tests d'intelligence. L'habileté spatiale se distingue des habiletés verbales et est considérée comme une aptitude mentale supérieure (Nyborg, 1983). Le lien qu'elle entretient avec les sciences a été rapporté par plusieurs auteurs (Roe, 1952 ; Siemankowski & MacKnight, 1971 ; McGee, 1979 ; Harris, 1981 ; Eliot & Hauptman, 1981 ; Nyborg, 1983 ; Smith, 1989).

La physique apparaît, pour plusieurs raisons, une discipline qui nécessite l'utilisation d'habiletés spatiales et qui en permet aussi l'expression. Des auteurs rapportent les champs d'applications suivants comme étant de nature spatiale : la transmission ondulatoire de l'énergie, les champs de forces, les figures de diffraction, la position de l'objet de référence, la réalisation et l'interprétation de diagrammes et de graphiques, le travail en laboratoire et la résolution de problèmes qui nécessitent la création de schémas (Siemankowski & MacKnight, 1971 ; Andersson, 1976 ; Bishop, 1978 ; Larkin, 1982 ; Pallrand & Seeber, 1984). Nous croyons aussi que cette liste peut être complétée par des contenus tels que la représentation d'une trajectoire en mécanique, le dessin de circuits électriques en électricité et magnétisme et la formation d'une image virtuelle en optique (voir le chapitre 1 pour un inventaire plus complet). Les études récentes sur la relation entre les habiletés spatiales et la réussite en physique semblent plutôt rares. Nous avons relevé l'étude de Pallrand et Seeber (1984) montrant que les élèves qui échouent à leur première session en physique collégiale sont plus faibles dans le test de figures cachées (F. C.) que ceux qui réussissent le cours. Ces élèves qui échouent sont pourtant aussi forts en mathématiques que ceux qui réussissent.

Cependant d'autres études relatives à la performance en physique indiquent plutôt que les mathématiques prédisent le rendement en physique. Pour leur part, Hudson et McIntire (1977) observent que la note à leur examen de mathématiques (algèbre et trigonométrie) est un "prédicteur" d'échec plus que de réussite en physique. De même, les aptitudes numériques, fortement liées aux mathématiques, sont aussi des indicateurs déjà repérés (Rixse & Pickering, 1985).

Il n'est pas facile de juger ce qui est le plus déterminant en physique : les mathématiques ou les habiletés spatiales ? Et la tâche s'avère d'autant plus difficile que ces variables ne sont pas indépendantes l'une de l'autre. Plusieurs études ont établi une relation significative entre la maîtrise des habiletés spatiales et la réussite des cours de mathématiques (Guilford & Lacey, 1947, Hills, 1957, Bennet, 1974, dans McGee, 1979 ; Guay & McDaniel, 1977 ; Eisenberg & McGuinty, 1977 ; Piemonte,1982 ; Ethington & Wolfle, 1984).

La variable sexe peut aussi "mêler les cartes". En effet, les hommes possèdent des habiletés spatiales plus développées que les femmes et cette différence s'accentue vers17-18 ans, soit à l'âge de nos sujets, bien que la performance maximale dans ces habiletés soit atteinte aux alentours de 25 ans (Harris, 1981). De plus, les habiletés spatiales prédisent mieux la réussite ou la persévérance des femmes que celle des hommes en sciences (Sherman, 1983 ; Bodner & McMillen, 1983 ; Ethington & Wolfle, 1984 ; Lohman, 1988). Cependant, lorsqu'il s'agit de transmettre de l'information spatiale, les filles sont aussi habiles que les garçons mais préfèrent le mode de communication verbal au mode de communication visuel utilisant un croquis (Ben-Chaim, Lappan & Houang, 1989). Il faut retenir aussi que les hommes réussissent mieux en sciences que les femmes et que, selon des données mondiales, c'est en physique que la supériorité des hommes est la plus évidente (Finn, Dulberg & Reis, 1979).

Finalement, nous savons que d'autres facteurs interviennent également dans la réussite au collégial. Parmi ceux-ci, nous avons retenu : le facteur verbal, la compétence spatiale perçue et la tendance à mémoriser.

4.2 Expérience de la physique au collégial et maîtrise de l'habileté spatiale

La section 3.2 du chapitre "résultats" nous a permis de démontrer la relation entre l'expérience qu'acquiert l'élève de la physique au collégial et la maîtrise de certaines habiletés spatiales telles la capacité de s'orienter spatialement, de schématiser et celle d'interpréter ou de modifier un graphique. Cependant, rien ne nous permet d'affirmer que cette même expérience soit reliée à la maîtrise d'habiletés spatiales pures telles la visualisation en deux ou trois dimensions.

D'une part, par la place importante qu'occupent les tâches de schématisation et de lecture graphique dans les cours de physique au collégial, il n'est pas étonnant que les élèves qui terminent leur cours de sciences maîtrisent mieux ces habiletés spatiales appliquées. Bien que le devis de la

présente étude ne permette pas d'évaluer directement l'effet spécifique des cours de physique, nous postulons tout de même que son enseignement stimule le développement de certaines habiletés spatiales. Nous n'avons qu'à penser aux nombreux produits spatiaux demandés à l'élève. En effet, celui-ci doit fréquemment schématiser des forces sous forme de vecteurs, mettre en graphique des données, illustrer différents énoncés de problèmes, etc. Ces comportements, s'ils sont suivis, mesurés et évalués par l'enseignant ou l'enseignante permettent, nous le croyons, la mise en place d'habiletés spatiales appliquées chez l'élève.

D'autre part, rien ne laisse croire que l'enseignement de la physique influence le développement d'habiletés spatiales pures. Il est probable que l'entraînement de la visualisation en deux ou trois dimensions et de l'orientation spatiale doive se faire dans un cadre développemental plus spécifique. Parce que ces habiletés sont définies comme des aptitudes cognitives supérieures (Nyborg, 1983), nous pouvons penser que leur développement nécessite une stimulation plus importante et plus particulière que celle offerte par le biais de l'enseignement de la physique. Il existe tout de même une littérature importante qui démontre la plausibilité d'entraîner de telles habiletés (Stericker, 1982; Smith et Schnoeder, 1979). C'est cependant par des moyens très concrets, telle la manipulation de figures géométriques, que s'opère leur enseignement.

Le modèle de Liben (1981), présenté au tout début du chapitre 1, peut servir de cadre de référence pour expliquer la relation entre l'expérience de la physique et la maîtrise de l'habileté spatiale. L'auteur propose trois fonctions de l'habileté spatiale : l'emmagasinage, la production et les opérations. Rappelons que la première fonction réfère à la structure interne de l'information tirée des phénomènes spatiaux, la seconde à des comportements observables qui traduisent une représentation mentale de ces phénomènes et la troisième à la manipulation mentale d'objets et de repères, donc à l'utilisation de l'espace. Les résultats de la section 2 montrent clairement que ce sont les habiletés spatiales dites appliquées qui corrèlent avec l'expérience de la physique. Ces habiletés sont mesurées à l'aide de tâches dans lesquelles l'élève doit mettre en place des schémas, décrire verbalement des graphiques, etc. Selon le modèle de Liben (1981), ces tâches appartiennent à la dimension production spatiale. Pour leur part, les habiletés spatiales dites pures sont mesurées à partir d'inventaires dans lesquels l'élève doit imaginer une série de transformations en deux et trois dimensions ou un déplacement de figures dans le même plan. Ces tâches appartiennent à la dimension opération spatiale. En extrapolant le modèle de Liben, nous postulons qu'un entraînement spatial doit d'abord stimuler l'emmagasinage, ensuite la production et enfin les opérations. Si nous voulions développer l'aptitude cognitive supérieure qu'est la visualisation en trois dimensions, il faudrait par exemple exercer l'élève à différencier des figures géométriques, l'amener ensuite à décrire ces figures ainsi que leur déplacement possible dans l'espace et pour

terminer le stimuler par des mouvements concrets produits dans un espace en trois dimensions. Les cours de physique de niveau collégial permettent probablement de mettre en place les deux premières étapes de cette séquence d'entraînement et c'est pourquoi ils développent la composante production spatiale. Mais leur contenu, qui ne stimule pas beaucoup les transformations tridimensionnelles, n'a que peu d'effet sur la composante opération.

4.3 Relation entre le rendement en physique et la maîtrise de l'habileté spatiale.

Telle que nous l'avons mesurée, l'habileté spatiale pure ne semble pas être un bon indicateur d'échec en physique, que ce soit en 101, 201 ou 301. Le fait qu'une fille possède ou non de bonnes habiletés spatiales pures ne modifie en rien le résultat final qu'elle obtiendra en physique. L'échec en physique ne peut s'expliquer par de faibles performances en habiletés spatiales pures. Cependant parmi les garçons qui réussissent le cours de mécanique (101), les meilleures notes finales sont obtenues par ceux qui sont forts spatialement. L'habileté spatiale pure facilite la réussite chez les garçons qui possèdent les acquis mathématiques suffisants pour répondre aux questions d'examen. Il est fort possible que l'habileté spatiale pure contribue de façon plus marquée en physique 101 à cause de la place particulière qu'y occupent les mathémathiques. Dans ce cours, l'élève doit souvent s'exercer à calculer des angles, à utiliser des principes de géométrie et de trigonométrie, et c'est peut-être à ce genre d'opérations que l'habileté spatiale pure contribue. Ces résultats vont à l'encontre de ceux relevés dans la littérature. En premier lieu, contrairement à ce que suggéraient Pallrand et Seeber (1984), la performance aux figures cachées (F. C.) n'est pas plus faible chez les élèves qui échouent. Ensuite, nos résultats indiquent que c'est plutôt la performance des hommes qui est reliée aux habiletés spatiales pures et non pas celle des femmes comme plusieurs auteurs l'ont signalé (Bodner & McMillen, 1983; Ethington & Wolfle, 1984; Lohman, 1988). Nos résultats s'expliquent en partie par le fait que les garçons soient les seuls à obtenir des résultats très élevés dans les habiletés spatiales et qu'il existe également de plus grands écarts entre les scores des hommes entre eux. Il est aussi possible que nos sujets ne soient pas du même âge que ceux qui ont participé aux études mentionnées précédemment.

Les résultats sont plus éloquents au niveau des habiletés spatiales appliquées. Cette fois, celles-ci s'avèrent d'assez bonnes indicatrices de la réussite, plus particulièrement pour les élèves en électricité et magnétisme (201) et aussi pour les élèves en mécanique (101). Les cours de physique feraient donc appel à des habiletés d'orientation dans l'espace (ORIENT.) : la capacité à déterminer l'apparence ou la position d'un objet après que cet objet ou l'observateur ait bougé. L'étude approfondie des examens de 101, 201 et 301 nous a permis de constater que de

nombreuses questions portaient justement sur le mouvement d'objets ou de l'observateur. Que ce soit l'étude d'un mouvement observé selon différents repères galiléens, l'analyse du phénomène de polarisation, la très grande majorité des contenus des trois cours de physique exigeait que l'élève ait de la facilité à traiter ces déplacements. Il ne faut pas oublier que c'est également la seule habileté spatiale qui prenne un peu d'importance chez notre échantillon de physique 301.

Toujours selon nos résultats, la schématisation (SCHÉM.) aussi est liée à la réussite en physique. Il est important pour l'élève qu'il puisse bien représenter les énoncés d'un problème d'examen (Larkin, 1982). Dans le cas où aucun schéma ou croquis n'est exigé par le professeur, l'habileté peut demeurer utile pour construire une représentation mentale adéquate des différents éléments intervenant dans le problème. Cette habileté, comme nous l'avons vu, semble se développer au fur et à mesure que l'expérience de la physique s'accumule. Les gens ayant suivi un cours préparatoire à la physique mécanique (le cours 111) ont probablement pu bénéficier de cette acquisition pour augmenter leur rendement en physique mécanique (101). Cette importance de la "mise en place" des éléments d'un problème vient confirmer l'idée de Bodner (1987). C'est principalement lors de l'étape de la compréhension d'un problème que les activités spatiales sont importantes, plutôt que lors de son exécution.

L'habileté à tracer et interpréter des graphiques (GRAPH.) est un autre élément important en physique. Tant dans le cadre des laboratoires que dans celui des cours théoriques, l'élève aura à choisir des systèmes d'axes, à présenter ses résultats expérimentaux sous forme graphique, à interpréter les graphiques des manuels, etc. D'ailleurs l'importance de la compréhension et de l'interprétation des graphiques a été suggérée par Pallrand et Seeber (1984) et Bishop (1978).

L'habileté de schématisation et celle liée aux graphiques apparaissent moins importantes en 301 qu'en 101, mais il faut se rappeler que l'échantillon de 301 est plus petit et que certaines tendances ne deviennent significatives qu'avec un plus grand nombre de sujets. Il est aussi possible que les habiletés de schématisation, étant généralement plus développées chez les élèves de 301, n'arrivent plus à discriminer les forts des faibles.

Soulignons à nouveau la plus grande importance des habiletés spatiales appliquées par rapport aux habiletés spatiales pures. Notre test spatial appliqué à la physique (R. M.) mesure beaucoup la capacité de production spatiale. Les examens et les rapports de laboratoire exigent eux aussi des productions spatiales de la part de l'élève. Or les tests d'habiletés spatiales pures conventionnels ne mesurent que la capacité de faire des opérations spatiales. On remarque aussi que les habiletés spatiales appliquées les plus reliées à la physique (SCHÉM. et GRAPH. en particulier)

sont celles qui sont le moins liées aux habiletés spatiales pures. Ces habiletés sont donc très différentes. La schématisation est axée sur la composante de production spatiale.

Notre hypothèse 3.1 est donc confirmée par les résultats de cette étude : la note finale de l'élève en physique est en corrélation avec les scores d'habiletés spatiales. Ce sont les habiletés spatiales appliquées qui sont concernées. Mais il y a des conditions d'apparition à cette corrélation. La relation devient plus évidente avec des sujets forts en mathématiques et qui suivent le cours de physique 201 (électricité et magnétisme). Le score spatial prédit mieux la réussite que l'échec.

4.3.1 Rendement en physique et mathématiques au secondaire

Les mathématiques jouent un rôle prépondérant dans la réussite en physique (101, 201 et 301). C'est de loin le meilleur indicateur du rendement en physique. Il semble que pour réussir le cours de physique il faille posséder une bonne base de mathématiques au secondaire. La note en mathématiques au secondaire est le meilleur indicateur que nous ayons d'un échec au cours de physique mécanique. Nos résultats sont en accord avec ceux de Hudson et McIntire (1977) : les mathématiques sont un meilleur indicateur de l'échec que de la réussite.

Mais les mathématiques sont considérées comme une science et non pas comme une aptitude. Ce que nous pouvons supposer, c'est que la réussite en mathématiques demande des aptitudes similaires à la réussite en physique. Les mathématiques requièrent des habiletés spatiales, nous le savons déjà, mais font aussi appel à d'autres aptitudes intellectuelles. Les aptitudes suivantes sont possiblement en cause : l'aptitude numérique, i.e. la capacité de manipuler des nombres par des opérations arithmétiques simples, le raisonnement logique ou la capacité d'analyse séquentielle. Si le poids des mathématiques est si important dans la prédiction de la réussite en physique et que celui des habiletés spatiales l'est moins, c'est probablement que la physique fait intervenir les autres aptitudes qui constituent le succès en mathématiques. Nous suggérons donc que l'aptitude numérique et le raisonnement logique sont des composantes de la pensée qui sont très utiles pour la réussite dans ces deux matières scolaires. Le cours de physique 201 (électricité et magnétisme) serait peut-être celui qui nécessiterait le plus l'intervention de l'autre composante, soit l'habileté spatiale.

Il y a cependant une autre façon d'expliquer les résultats obtenus en physique 201. Comme nous l'avons souligné dans le chapitre 3, les élèves du cours 201 étaient tous très forts en mathématiques et l'on sait que les variables spatiales ont de l'importance dans la prédiction du

rendement en physique pour les élèves forts en mathématiques mais pas chez les élèves faibles. En conclusion, il semble qu'à partir du moment où tous les sujets partagent de bons résultats en mathématiques, les aptitudes spatiales soient celles qui discriminent le mieux entre ceux qui vont réussir en physique avec de fortes notes et ceux qui seront plus faibles. Cette interprétation est aussi tout à fait concordante avec les résultats obtenus chez les garçons en physique 101.

4.3.2 Examens et laboratoires en relation avec les habiletés spatiales

Dans cette recherche nous avons tenté d'identifier des contenus d'examens à caractère spatial et d'autres plus mathématiques. Une question d'examen recevait une cote spatiale forte lorsque la réponse exigeait seulement un produit spatial ; une question était cotée faiblement spatiale lorsque l'élève répondait en effectuant des opérations essentiellement mathématiques ou en faisant appel à la mémoire ou à ses aptitudes verbales. Nous avons par le fait même minimisé l'importance des questions qui nécessitaient à la fois des opérations spatiales et des produits mathématiques. Bien qu'il fut facile d'obtenir une entente inter-juges sur la "spatialité" des contenus, cette longue classification en cotes plus ou moins spatiales s'est avérée tout à fait inutile. Les contenus spatiaux en physique ne nécessitent ni plus ni moins d'habiletés spatiales que les contenus non-spatiaux. Des chercheurs en mathématiques ou en chimie (Lean & Clements,1981 ; Battista, Talsman & Wheatley, 1982 ; Pribyl & Bodner, 1987) nous avaient pourtant déjà prévenus contre de telles attentes. Nous nous joignons donc à ces auteurs pour souligner que ce n'est pas l'apparence spatiale d'un problème qui détermine l'utilisation d'habiletés spatiales. Cela pourrait être plutôt la difficulté relative du problème ou même encore mieux la nouveauté du problème qui provoquerait l'entrée en fonction des habiletés spatiales des sujets.

Si l'élève est en face d'un type de problème qu'il connaît bien, il aura tendance à utiliser un procédé d'analyse séquentielle ou logique pour le résoudre, tel qu'on le lui aura enseigné en classe. S'il met en branle des algorithmes ou sa mémoire, il n'utilise pas ses habiletés spatiales. Par contre, lorsqu'il cherche à comprendre un nouveau concept introduit par le professeur en classe ou que dans un examen il est en face d'un problème d'un genre nouveau, il ne peut appliquer un algorithme ou une formule toute préparée. Il doit alors réorganiser sa pensée, fonctionner d'abord par analogie, trouver à quoi cela ressemble ou ne ressemble pas, pour ensuite préparer son propre mode de résolution du problème. C'est là que jouent les habiletés spatiales à notre avis. Si l'examen de physique ne mesure que l'habileté à appliquer correctement une formule mathématique appropriée à un type de problème, il ne met jamais en valeur l'habileté spatiale de l'élève. À la limite, un élève qui se prépare à l'examen en faisant de nombreux exercices qui se rapprochent du

contenu de cet examen, pourrait bien réussir le cours en appliquant constamment des algorithmes tout en ayant très peu de compréhension réelle des lois de la physique. Il utilise bien les techniques apprises sans toutefois comprendre pourquoi il le fait.

C'est ainsi que notre hypothèse 3.2 est infirmée. Les résultats aux questions d'évaluation jugées à fort contenu spatial ne sont pas fortement corrélées avec les scores d'habiletés spatiales.

Notre dernière hypothèse 3.3 prévoyait que les résultats aux exercices de laboratoire seraient très fortement en corrélation avec les scores d'habiletés spatiales. Cette hypothèse est aussi infirmée. Les corrélations entre les résultats d'examens, les résultats de laboratoire et la note finale sont énormes. De façon générale, très peu de points sont accordés aux travaux de laboratoire. Certains professeurs croient que la note de laboratoire ne reflète pas la compétence réelle de l'élève en physique. La note de laboratoire réflète peut-être plus la minutie dans la présentation des rapports, la capacité de suivre des instructions, la capacité de travail en équipe de l'élève ou encore la qualité de ses coéquipiers.

4.4 Rendement en physique et autres variables non spatiales

Nous avons pu vérifier à l'instar de plusieurs auteurs (dans Harris, 1981) que les garçons possèdent des habiletés spatiales pures et appliquées plus développées que les filles, bien qu'il y aurait peut-être lieu de vérifier, comme le pense Ben-Chaim (1989), que les filles expriment leur pensée spatiale d'une façon différente (plus verbale) de celle que nous avons mesurée. Lorsqu'elles possèdent des habiletés spatiales ou mathématiques égales aux garçons, les filles réussissent mieux que ces derniers. Elles possèdent une recette de réussite qui n'est pas partagée par l'ensemble des garçons. Nous croyons qu'elles sont supérieures aux garçons en ce qui concerne la priorité qu'elles accordent aux études, leur capacité d'entraide et celle de demander de l'aide au professeur. Elles diffèrent possiblement au niveau de l'efficacité de leurs méthodes d'étude. Certains professeurs constatent aussi qu'elles sont plus minutieuses. Ce sont là autant de variables en leur faveur qui viennent compenser pour une faiblesse relative dans les habiletés spatiales. Par exemple en physique 201 et 301, les filles, malgré une faiblesse relative dans les habiletés spatiales, réussissent mieux que les garçons. On constate alors que les tendances observées par Finn, Dulberg et Reis en 1979 sont maintenant inversées.

Nous avons aussi observé moins de variation dans les résultats spatiaux purs et appliqués des filles, contrairement à ceux des garçons. Notre échantillon de filles était donc plus homogène.

Cela pourrait expliquer les résultats qui montrent que l'habileté spatiale est moins prédictrice du rendement des filles en physique que de celui des garçons. Il se pourrait très bien que les filles puissent profiter d'un développement des habiletés spatiales ; à ce moment, les plus fortes obtiendraient elles aussi les notes les plus fortes. Les garçons forts spatialement pourraient eux bénéficier d'un développement d'habiletés autres qui assurent le succès des filles.

En ce qui concerne les variables non-spatiales mesurées, la variable mots-clés (M.-C.) apparaît comme un bon "prédicteur" de la réussite en physique pour les élèves faibles en mathématiques au secondaire. Ce fait n'a rien de troublant puisque cette variable fait partie de l'habileté verbale qui elle-même est considérée comme aptitude de base supérieure. Il semble donc possible de réussir en physique, tout en étant faible en mathématiques, si cette faiblesse est en partie compensée par une bonne compréhension du vocabulaire utilisé en physique. La même variable n'affecte plus la prédiction de la note finale en physique pour les élèves forts en mathématiques puisque ces derniers ont possiblement développé en parallèle ces deux dimensions de l'intelligence (Bodner, 1987). Il y aurait donc lieu de recommander aux enseignants-es d'expliciter davantage le vocabulaire utilisé lors de l'apprentissage de matière nouvelle, cette préoccupation pouvant beaucoup aider les élèves faibles ; d'ailleurs, nous avons déjà noté le rôle important que jouaient ces mots-clés en physique 201.

Résultats surprenants au prime abord : les garçons qui se perçoivent compétents à manipuler avec goût des objets, de même que ceux qui partagent un tel sentiment face à l'utilisation d'outils, réussissent mal en physique. Ces résultats pourraient laisser croire que ces sentiments s'opposent à celui de "comprendre et de réussir des matières scientifiques". Ce n'est pas le cas puisque la corrélation entre ces scores de perception est positive (voir section 3.1). Il se peut que les garçons n'aient pas appris à concilier les domaines artistique et scientifique. Le stéréotype de l'"homme de sciences" à l'esprit méthodique, rigoureux, froid, théoricien plus que pratique, semble persister encore de nos jours. Ce préjugé, apparemment bien ancré chez les garçons, n'affecte aucunement les filles peut-être parce que ces dernières connaissent peu de modèles féminins en sciences. Le garçon qui, dans le cadre d'un cours de physique, ne peut mettre à profit les compétences artistique et pratique qu'il croit détenir, sera tenté d'abandonner les sciences et de s'orienter ailleurs.

4.5 Synthèse des principaux facteurs qui favorisent la réussite en physique

Premièrement, une bonne maîtrise de l'outil mathématique s'avère indispensable pour obtenir la note de passage en physique. En second lieu, une fois que l'élève possède cet atout, il réussira mieux s'il est capable de schématiser, d'utiliser des graphiques et de déterminer la position d'un objet après un déplacement de celui-ci ou de l'observateur. Troisièmement, les filles possèdent des aptitudes supplémentaires non mesurées dans notre recherche qui leur permettent de réussir en physique malgré une faiblesse apparente de leurs habiletés spatiales.

4.6 Considérations méthodologiques

Premièrement, la méthode d'échantillonnage étant de type "accidentel" ne nous permet pas de généraliser les résultats à toute la population d'élèves de sciences du collège de Sainte-Foy. Pour faciliter la cueillette de données, nous avons d'abord travaillé avec des groupes-classes pour ensuite former des groupes-matières. Cette façon de procéder ne permet pas de contrôler les effets attribuables à l'enseignant ou à l'enseignante de même qu'aux conditions d'enseignement. De plus le nombre restreint de sujets en physique 201 et 301 nous incite à la prudence lors de l'interprétation des résultats de ces groupes.

Deuxièmement, les transformations pratiquées sur les mesures d'habiletés spatiales pures, diminution du nombre de questions et du temps alloué, ont peut-être empêché de mesurer le potentiel réel des sujets. Certaines tendances dans les résultats ont pu être masquées par ces transformations.

Troisièmement, la mesure des facteurs de l'habileté spatiale appliquée est plus souvent qu'autrement basée sur un nombre limité de questions et le temps alloué était insuffisant pour terminer l'épreuve. Les répondants avaient peu l'occasion d'exprimer verbalement des contenus spatiaux. Si cette épreuve devait servir à des fins expérimentales plus poussées, elle mériterait une étude plus approfondie.

Quatrièmement, le devis de recherche corrélationnel nous limite à des descriptions non causales des phénomènes. Lorsque nous postulons, par exemple, que l'expérience de la physique développe l'habileté spatiale, il faut comprendre qu'il s'agit d'une interprétation dérivée de liens corrélationnels.

Cinquièmement, plusieurs instruments utilisés dans cette étude n'ont fait l'objet que d'une validation partielle. Certains même n'ont subi aucune analyse psychométrique. C'est le cas du test de compréhension des mots-clés. Il faut comprendre que ces outils, ne constituant pas la mesure des variables principales de l'étude, furent utilisés à titre exploratoire.

Sixièmement, pour mieux identifier le rôle spécifique de l'habileté spatiale, nous avons cru bon de définir des critères différents de la note finale. L'idée de classer les questions d'examens suivant le fort ou le faible contenu spatial nous apparaissait une démarche intéressante qui aurait permis de préciser le rôle de l'habileté spatiale. Les fortes corrélations entre le rendement aux questions d'examens à fort contenu spatial et celles à faible contenu spatial démontrèrent que notre classification ne pouvait être justifiée, donc non interprétable. Aussi, dans plusieurs cas, ce fut la réussite aux questions jugées sans contenu spatial qui furent reliées à la maîtrise d'habiletés spatiales pures ou appliquées. Bien que le classement des questions ait fait l'objet d'une décision à trois juges, sans doute qu'une expertise plus grande des mécanismes opérants dans la maîtrise de l'habileté spatiale aurait été souhaitable. Nous avons coté "sans contenu spatial" les questions ne requérant qu'une démarche mathématique entre autres. A posteriori, nous constatons que les opérations purement mathématiques nécessitent une série d'habiletés cognitives dont l'habileté spatiale. Il n'est donc pas surprenant d'obtenir un profil de relations dénué de sens. De même, la note des laboratoires ne nous a rien apporté puisque les professeurs eux-mêmes considèrent qu'elle ne reflète pas toujours la compétence réelle de l'élève en physique. Ces notes sont souvent très élevées et elles établissent mal la distinction entre les forts et les faibles.

Enfin, cette étude s'est intéressée principalement au rôle de l'habileté spatiale. Nous avons aussi fait intervenir d'autres variables susceptibles d'expliquer le rendement en physique. La variance résiduelle non expliquée par nos équations de prédiction montre que d'autres facteurs interviennent pour expliquer la réussite en physique. Les stratégies d'étude des élèves, leur maturité vocationnelle, le fait d'occuper un emploi ou encore la qualité de l'enseignement reçu sont autant de facteurs pouvant expliquer la performance d'un élève dans un cours de physique.

4.7 Recommandations

Il y aurait lieu, dans une optique d'intervention, de développer des encadrements pédagogiques qui faciliteraient la croissance des habiletés spatiales qui sont les plus utiles en physique, soit : la schématisation, la conception et l'interprétation des graphiques, de même que la détermination de la position d'un objet après mouvement de cet objet ou de l'observateur (l'orientation). Une structure

d'intervention suggérée serait la suivante : premièrement, de présenter un concept théorique ; deuxièmement, d'y apporter un support concret afin d'illustrer le nouveau phénomène à l'étude ; troisièmement, de demander à l'élève un produit spatial de nature visuelle et même verbale se rattachant au concept ; quatrièmement, d'effectuer une évaluation formative de cette production. Il serait préférable que l'élève apprenne rapidement à utiliser ces outils spatiaux ; il est clair que les jeunes, malgré les cours d'initiation à la technologie qu'ils suivent au secondaire, ne contrôlent pas assez ces habiletés au collégial. Dès le premier cours de physique, il faudrait que l'enseignant-e intègre une part de spatial dans sa méthode et qu'il exige fréquemment des productions spatiales.

Les mathématiques demeurent un outil indispensable pour bien réussir en physique ; dans cette optique, tout cours d'appoint en physique doit couvrir les aspects numériques, logiques et spatiaux de cette première discipline. Par exemple, la géométrie et la trigonométrie pourraient faire l'objet d'une approche spatiale plus visuelle.

Aussi, le contenu des examens serait-il trop mathématique ? N'y aurait-il pas place pour d'autres formes de questions qui permettraient quand même de vérifier si l'élève a acquis une bonne compréhension du monde physique qu'il étudie ? Ces questions évalueraient mieux celui ou celle qui bute dès qu'un problème fait appel aux mathématiques, mais qui comprend tout de même le phénomène. On pourrait répondre à ces questions par des descriptions verbales, des dessins, des graphiques "qualitatifs" plutôt que "quantitatifs", etc. Les professeurs-es peuvent sûrement faire preuve d'imagination lorsqu'ils enseignent au collégial, sachant que la majorité des jeunes dont ils ont la responsabilité de la formation scientifique, ne se dirigeront pas vers la physique à l'université.

Pourquoi les filles réussissent-elles mieux que les garçons ? Toute une exploration des aptitudes qui leur assurent le succès en physique serait à amorcer. Nous savons qu'elles sont plus actives dans leurs stratégies d'études, qu'elles répondent bien aux attentes du milieu collégial, etc. (Larose et al., 1989). Une meilleure connaissance des points forts de nos étudiantes permettraient de corriger des faiblesses chez les "physiciens" en herbe.

Il semble que les cours de physique assurent le développement des habiletés spatiales. Une recherche plus approfondie auprès de groupes expérimental et contrôle révélerait sûrement des surprises.

Le test de représentation mentale appliquée à la physique pourrait être amélioré : il faudrait y ajouter des questions exigeant plus de descriptions verbales, retrancher celles qui étaient moins

pertinentes, étoffer la partie traitant des graphiques, etc. Il pourrait être validé à nouveau et servir d'outil diagnostic adapté et aux filles et aux garçons.

Enfin, toute tentative pour classer dans le spatial ou le non-spatial les questions d'examens devra, pour être fructueuse, tenir compte de la nouveauté et de la difficulté des dites questions par rapport à ce qui a été vu en classe et aux exercices réalisés par l'élève. Cette démarche devra se faire en étroite collaboration avec les enseignants-es.

CONCLUSION

Nos résultats concordent avec ceux obtenus ailleurs : de bons acquis en mathématiques au secondaire sont primordiaux pour éviter l'échec en physique au collégial. Evidemment, les mathématiques n'expliquent pas à elles seules la réussite. Les habiletés spatiales pures et appliquées jouent aussi un rôle intéressant dans le rendement en physique à partir du moment où l'élève possède une bonne base de mathématiques.

De façon plus précise, notre étude démontre, étonnamment, que les habiletés spatiales pures sont davantage reliées à la performance des garçons qu'à celle des filles. À ce point de vue, nous contredisons plusieurs études. Nous croyons pouvoir expliquer en partie ce résultat en considérant la plus grande variabilité des résultats des hommes dans les habiletés spatiales. Comme prévu, les femmes sont plus faibles au niveau de cette aptitude mais elles en possèdent d'autres, que nous n'avons pas mesurées, qui semblent les aider à réussir en physique. D'ailleurs, les filles réussissent mieux que les garçons dans les cours de physique plus avancés (201 et 301).

Notre étude a mis en lumière une relation intéressante entre la maîtrise des mathématiques et le rôle des habiletés spatiales appliquées dans la réussite en physique. En effet, les habiletés spatiales prennent une plus grande valeur prédictive de la réussite en physique chez les élèves qui sont forts en mathématiques. Les habiletés spatiales n'aident pas les élèves faibles en mathématiques, c'est plutôt une variable reliée à la compétence langagière qui prend de l'importance. Un élève faible en mathématiques peut espérer se rattraper en développant une bonne compréhension des mots-clés utilisés dans les questions d'examens.

Notre étude a également permis d'identifier clairement trois habiletés spatiales plus fortement reliées au rendement en physique : la capacité de reconnaître un objet sous différents angles, la capacité de schématiser et la capacité de travailler avec des graphiques. Ces habiletés sont en corrélation avec les notes de mathématiques au secondaire. Elles semblent également se développer avec l'expérience de la physique au collégial. Une de nos principales recommandations serait donc de procéder à l'entraînement ou au développement de ces habiletés spatiales, par des interventions concrètes en classe qui viendraient s'insérer dans le contenu même des cours de physique.

BIBLIOGRAPHIE

Andersson, B. (1976). Science Teaching and the Development of Thinking. Göteborg Studies in Educational Sciences, 20, 177p.

Ault, C. R. (1989). Problem Solving in Earth Science Education. What Research Says to the Science Teacher, vol. 5, 35-49.

Bandura, A. (1977). Self-efficacy : toward a Unifying Theory of Behavioral Change. Psychological Review, 84, 191-215.

Battista, M. T., Talsma, G. & Wheatley, G. H. (1982). The Importance of Spatial Visualization and Cognitive Development for Geometry Learning in Preservice Elementary Teachers. Journal for Research in Mathematics Education, vol. 13, no 5, 332-340.

Beauchamp, Y. (1988). Vers un meilleur passage secondaire-cégep. Un projet d'encadrement des étudiants. Verdun, Collège André-Laurendeau.

Ben-Chaim, D., Lappan, G. & Houang, R.T. (1989). Adolescents' Ability to Communicate Spatial Information: Analysing and Effecting Students' Performance. Educational Studies in Mathematics, vol. 20, no 2, 121-146.

Bishop, J. E. (1978). Developing Student's Spatial Ability. The Science Teacher, novembre, 20-23.

Blouin, Y. (1986). Réussir en sciences. Sillery, Cegep François-Xavier Garneau.

Bodner, G. M., McMillen, T. L. B., Greenbowe, T. J. & McDaniel, E.D. (1983). Verbal, Numerical and Perceptual Skills Related to Chemistry Achievement. Communication à : Convention of the American Psychological Association, août, 1-10.

Carter, C. S., LaRussa, A. & Bodner, G. M. (1985). Spatial Ability in General Chemistry. Communication à : The National Association for Research in Science Teaching, avril, 1-26.

Carter, C. S., LaRussa, M. A. & Bodner, G. M. (1987). A Study of Two Measures of Spatial Ability as Predictors of Success in Different Levels of General Chemistry. Journal of Research in Science Teaching, vol. 24, no 7, 645-657.

Conseil des collèges (1988). La réussite, les échecs et les abandons au collégial. L'état et les besoins de l'enseignement collégial. Rapport annuel 1987-1988. Québec.

Eisenberg, T. A. & McGinty, R. L. (1977). On Spatial Visualization in College Students. The Journal of Psychology, vol. 95, 99-104.

Eliot, J. (1980). Classification of Figural Spatial Tests. Perceptual Motor Skills, vol. 51, 847-851.

Eliot, J. & Hauptman, A. (1981). Different Dimensions of Spatial Ability. Studies in Science Education, vol. 8, 45-66.

Elmore, P. B. & Storey Vasu, E. (1986). A Model of Statistics Achievement Using Spatial Ability, Feminist Attitudes and Mathematics-related Variables as Predictors. Educational and Psychological Measurement, no 46, 215-222.

Ethington, C. A. & Wolfle, L. M. (1984). Sex Differences in a Causal Model of Mathematics Achievement. Journal for Research in Mathematics Education, vol. 15, no5, 361-377.

Falardeau, I., Larose, S. & Roy, R. (1988). Intégration aux études collégiales : analyse de facteurs liés au rendement scolaire. Ste-Foy, Cégep de Sainte-Foy.

Fennema, E. H. & Sherman, J. A. (1978). Sex-related Differences in Mathematics Achievement and Related Factors : a Further Study. Journal for Research in Mathematics Education, vol. 9, 189-203.

Ferrini-Mundy, J. (1987). Spatial Training for Calculus Students : Sex Differences in Achievement and in Visualization Ability. Journal for Research in Mathematics Education, vol. 18, no 2, 141-157.

Finn, J. D., Dulberg, L. & Reis, J. (1979). Sex Differences in Educational Attainment: A Cross-National Perspective. Harvard Educational Review, vol. 49, no 4, 477-503.

Gabel, D. (1989). Problem Solving in Chemistry. What Research Says to the Science Teacher, vol. 5, 83-96.

Gabel, D. L. & Enochs L. G. (1987). Different Approaches for Teaching Volume and Students' Visualization Ability. Science Education, vol. 71, no 4, 591-597.

Guay, R. B. & McDaniel, E. D. (1977). The Relationship between Mathematics Achievement and Spatial Abilities among Elementary School Children. Journal for Research in Mathematics Education, vol 7, mai, 211-215.

Harris, L. J. (1981). Sex-related Variations in Spatial Ability. Dans : Liben, L.S., Patterson, A.H. & Newcombe, N. (éditeurs) : Spatial Representation and Behavior Across the Life Span, New-York, Academic Press.

Harvey, J. & Goldstein, S. (1985). Sex Differences in Science and Mathematics for more Able Pupils. Gifted Education International, vol. 3, no 2, 133-136.

Helgeson, S. L. (1989). Problem Solving in Middle Level Science. What Research Says to the Science Teacher, vol. 5, 13-34.

Hess, J. H., Grafton, C. L. & Michael, W. B. (1983). The Predictive Validity of Cognitive and Affective Measures in a Small Religiously Oriented Liberal Arts College. Educational and Psychological Measurement, 43, 865-872.

Hudson, H.T. & McIntire, W. R. (1977). Correlation Between Mathematical Skills and Success in Physics. American Journal of Physics, vol. 45, no 5, mai, 470-471.

Kail, R. & Pellegrino, J. W. (1985). Human Intelligence, Perspectives and Prospects. New York : W. H. Freeman and company.

Kozlowski, L.T. & Bryant, K. J. (1977). Sense of Direction, Spatial Orientation and Cognitive Maps. Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance, vol. 3, no 4, 590-598.

Larkin, J. H. (1982). Studying how People Think : an Application in the Science Classroom. What Research Says to the Science Teacher, vol. 4, 22-30.

Lavoie, H. (1988). Les échecs et les abandons au collégial. Document d'analyse. Québec : Direction générale des études collégiales (DGEC), Ministère de l'enseignement supérieur et de la science.

Lean, G. & Clements, M. A. (1981). Spatial Ability, Visual Imagery and Mathematical Performance. Educational Studies in Mathematics, 267-299.

Lezak, M. D. (1983). Neuropsychological Assessment. New York : Oxford University Press.

Liben, L. S. (1981). Spatial Representation and Behavior : Multiple Perspectives. Dans : Liben, S.L., Patterson, A. H. & Newcombe, N. (éditeurs) : Spatial Representation and Behavior Across the Life Span. New-York, Academic Press Inc.

Likert, R. & Quasha, W. H. (1970). Revised Minnesota Paper Form Board Test. New York : Psychological Corporation.

Lord, T. R. (1985). Enhancing the Visuo-spatial Aptitude of Students. Journal of Reasearch in Science Teaching, vol. 22, no 5, 395-405.

Lord, T. R. (1987). Spatial Teaching. Simple Activities such as Reassembling Specimens after Dissection, Strenghten Learning. The Science Teacher, février, 32-34.

Lohman, D. F. (1988). Spatial Abilities as Traits, Processus and Knowledge. Dans Sternberg, R. J. éd., Advances in the Psychology of Human Intelligence, vol. 4, 1-99.

Lowman, R. L., Williams, R. E. & Leeman, G. E. (1985). The Structure and Relationship of College Woman's Primary Abilities and Vocational Interests. Journal of Vocational Behavior, vol. 27, 298-315.

Lunneborg, P. W. & Lunneborg, C. E. (1986). Everyday Spatial Activities Test for Studying Differential Spatial Experience and Vocational Behavior. Journal of Vocational Behavior, vol. 28, 135-141.

McGee, M. G. (1979). Human Spatial Abilities: Psychometric Studies and Environmental, Genetic, Hormonal and Neurological Influences. Psychological Bulletin, septembre, vol. 86, no 5, 889-918.

Nyborg, H. (1983). Spatial Ability in Men and Women : Review and New Theory. Advances in Behavior Research and Theory, vol. 5, 89-140.

Pallrand, G.J. & Seeber, F. (1984). Spatial Ability and Achievement in Introductory Physics, Journal of Research in Science Teaching, vol. 21, no 5, 507-516.

Pascarella, E. T. (1984). College Environmental Influences on Student's Educational Aspirations. Journal of Higher Education, vol. 55, no 6, 751-771.

Piemonte, C. (1982). Mathematics - a Visual Experience. Curriculum Review, octobre, 413-415.

Pribyl, J.R. & Bodner, G. M. (1987). Spatial Ability and its Role in Organic Chemistry : a Study of Four Organic Courses. Journal of Research in Science Teaching, vol. 24, no 3, 229-240.

Rixse, J. S. & Pickering, M. (1985). Freshman Chemistry as a Predictor of Future Academic Success. Journal of Chemical Education, vol. 82, no 4, 313-316.

Roe A., (1952). A Psychologist Examines 64 Eminent Scientists. Scientific American, vol.187, no 5, novembre, 21-25.

Seddon, G. M., Adeola, A., El Farra, A. O. K. & Oyediji, S. I. (1984). The Responsiveness of Students to Pictorial Depth Cues and the Understanding of Diagrams of Three-Dimensional Structures. British Educational Research Journal, vol. 10, no 1, 49-62.

Seddon, G. M., Eniaiyeju, P. A. & Jusoh, I. (1984). The Visualization of Rotation in Diagrams of Three-Dimensional Structures. American Educational Research Journal, vol. 21, printemps, 25-38.

Seddon, G. M. & Shubber, K. E. (1984). The Effects of Presentation Mode and Colour in Teaching the Visualization of Rotation in Diagrams of Molecular Structures. Research in Science and Technological Education, vol. 2, no 2, 167-176.

Seddon, G. M. & Tariq R. H. (1982). The Visualization of Spatial Transformations in Diagrams of Molecular Structures. European Journal of Science Education, vol. 4, no 4, 409-420.

Sherman, J. (1983). Factors Predicting Girls' and Boy's Enrollment in College Preparatory Mathematics. Psychology of Women Quaterly, vol. 7, no 3, 272-281.

Siemankowski, F.T. & MacKnight, F.C. (1971). Spatial Cognitions : Success Prognosticator in College Science Courses. Journal of Science Teaching, vol. 1, octobre, 56-59.

Small, M. Y. & Morton, M. E. (1983). Spatial Visualization Training Improves Performance in Organic Chemistry. Journal of College Science Teaching, octobre, 41-43.

Smith, M. U. (1989). Problem Solving in Biology : Focus on Genetics.What Research Says to the Science Teacher , vol. 5, 67-82.

Smith, W. S. et Schroeder, C. K. (1979). Instruction of Fourth Grade Girls and Boys on Spatial Visualization, Science Education, 63, 61-66.

Smith, W. S. & Schroeder, C. K. (1981). Preadolescents' Learning and Retention of a Spatial Visualization Skill. School Science and Mathematics, vol. 81, no 8, 705-709.

Snider, R. M. (1989). Using Problem Solving in Physics Classes to Help Overcome Naive Misconceptions. What Research Says to the Science Teacher , vol. 5, 51-65.

Stericker, A. et LeVesconte, S. (1982). Effect of Brief Training on Sex-related Differences in Visual-spatial Skills, Journal of Personality and Social Psychology, 43, 1018-1029.

Talley, L. H. (1978). The Use of Three-dimensional Visualization as a Moderator in the Higher Cognitive Learning of Concepts in College Level Chemistry. Journal of Research in Science Teaching, vol. 10, no 3, 263-269.

Terenzini, F. T. & Wright, T. M. (1987). Influences on Students' Academic Growth during Four Years of College. Research in Higher Education, vol. 26 (2), 161-179.

Torkia-Lagacé, M. (1981). La pensée formelle chez les étudiants de collège 1 : objectif ou réalité? Québec, Cégep de Limoilou.

Waldo, M. (1986). Academic Achievement and Retention as Related to Students' Personal and Social Adjustment in University Residence Halls. The Journal of College and University Student Housing, 16, 19-23.

Watkins, D. (1986). Learning Processes and Background Characteristics as Predictors of Tertiary Grades. Educational and Psychological Measurement, 46, 199-203.

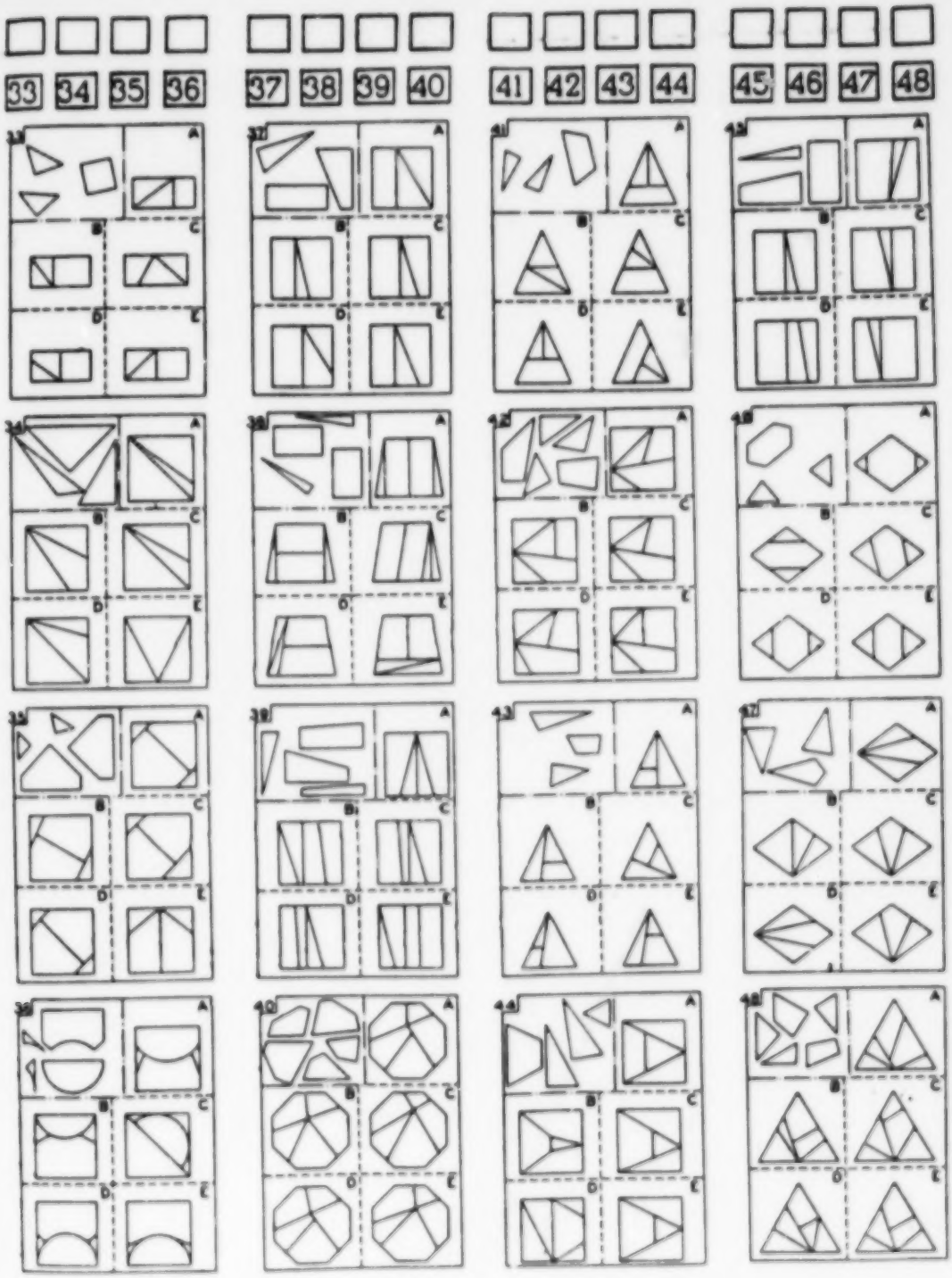
Wavering, M. J., Perry, B., Kelsey, L.J. & Birdd, D. (1986). Performance of Students in Grades Six, Nine, and Twelve on Five Logical, Spatial and Formal Tasks. Journal of Research in Science Teaching, vol. 3, no 4, 321-333.

White,T. J. & Sedlacek, W. E. (1986). Noncognitive Predictors : Grade and Retention of Specially-admitted Students. The Journal of College Admissions, 3, 20-23.

Yates, L. G. (1986). Effect of Visualization Training on Spatial Ability Test Scores. Journal of Mental Imagery, vol. 10, no 1, 81-92.

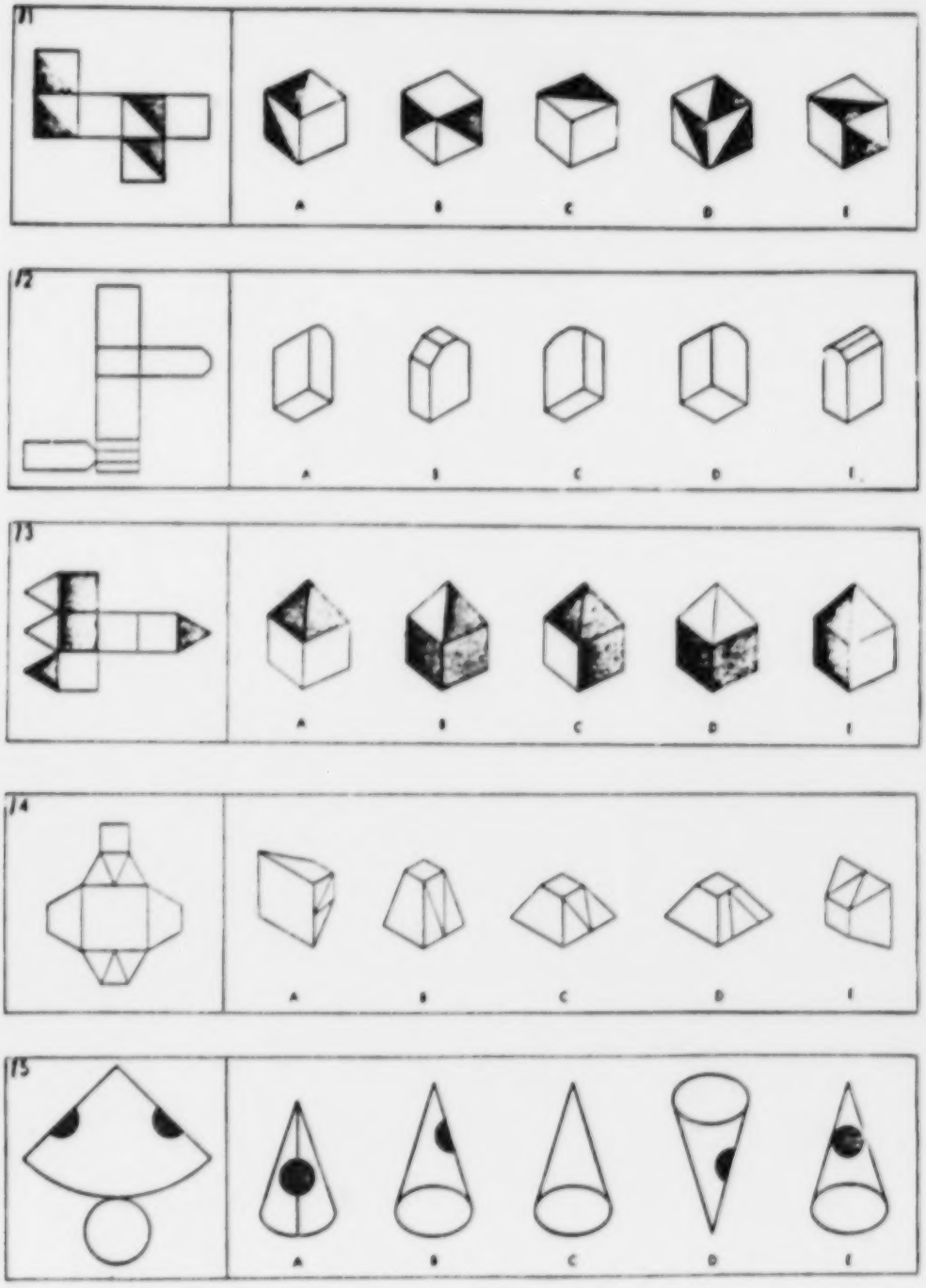
APPENDICE 1

Figures géométriques (F.G.)


33 34 35 36
37 38 39 40
41 42 43 44
45 46 47 48

APPENDICE 2

Habiletés perceptuelles (H.P.)


11
A
B
C
D
E
12
A
B
C
D
E
13
A
B
C
D
E
14
A
B
C
D
E
15
A
B
C
D
E

APPENDICE 3

Figures cachées (F. C.)

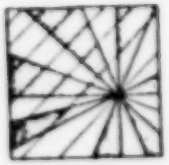
LES FORMES SIMPLES

A

B

C

3



Retrouvez la forme simple "G".

D

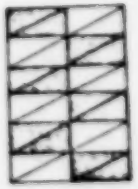
E

F

G

H

4



Retrouvez la forme simple "E".

INSTITUT DE RECHERCHES PSYCHOLOGIQUES, INC.

APPENDICE 4

Représentation mentale (R. M.)

janvier 1990

Représentation mentale

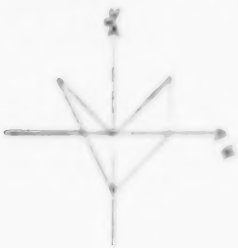
Nom de l'élève _____

Encerclez la bonne réponse.

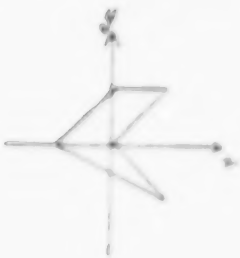
2 - La figure ci-dessous est construite à partir de droites tracées dans un système d'axes.

Vous changez les coordonnées de *x* par celles de *y* et vice versa. Parmi les figures ci-dessous, laquelle résulte de la transformation que vous venez d'effectuer ?

a)

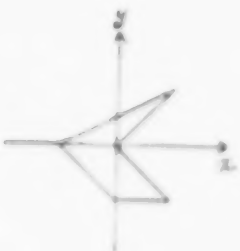


b)



c)

d)



e)

f)

Encerclez la ou les bonnes réponses.

1 - Vous observez 2 points A et B sur un microsillon , pendant que celui-ci tourne à raison de 33 révolutions par minute.

Le point A

a) fait plus de tours que le point B pendant 1 seconde ;
b) fait autant de tours que le point B pendant 1 seconde ;
c) fait moins de tours que le point B pendant 1 seconde ;
d) parcourt une plus petite distance que B pendant 1 seconde ;
e) parcourt une plus grande distance que B pendant 1 seconde ;
f) parcourt la même distance que B pendant 1 seconde.

Encerclez la ou les bonnes réponses.

1 - Vous observez 2 points A et B sur un microsillon , pendant que celui-ci tourne à raison de 33 révolutions par minute.

Le point A

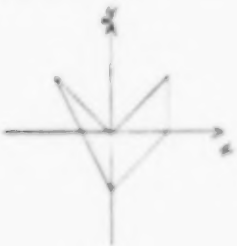
a) fait plus de tours que le point B pendant 1 seconde ;
b) fait autant de tours que le point B pendant 1 seconde ;
c) fait moins de tours que le point B pendant 1 seconde ;
d) parcourt une plus petite distance que B pendant 1 seconde ;
e) parcourt une plus grande distance que B pendant 1 seconde ;
f) parcourt la même distance que B pendant 1 seconde.

Encerclez la bonne réponse.

2 - La figure ci-dessous est construite à partir de droites tracées dans un système d'axes.

Vous changez les coordonnées de x par celles de y et vice versa. Parmi les figures ci-dessous, laquelle résulte de la transformation que vous venez d'effectuer ?

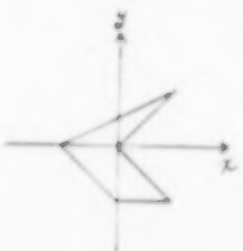
a)



b)

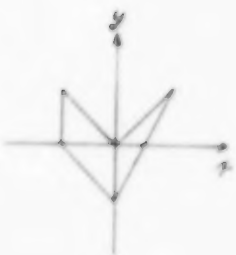
c)

d)

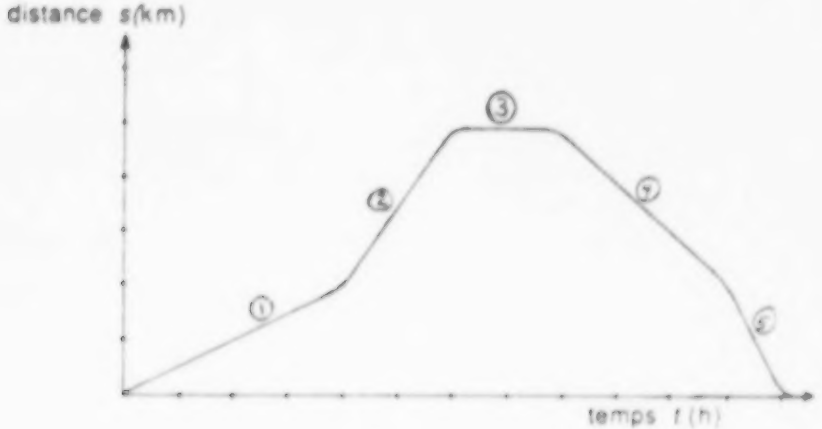


e)

f)



3 - Marguerite Fleur-de-lys se rend visiter un ami, à bicyclette. Elle pédale le plus vite possible et revient par le même chemin. Dans vos propres mots et en lisant le graphique ci-dessous, décrivez le parcours suivi, s étant la distance séparant notre cycliste de son point de départ.



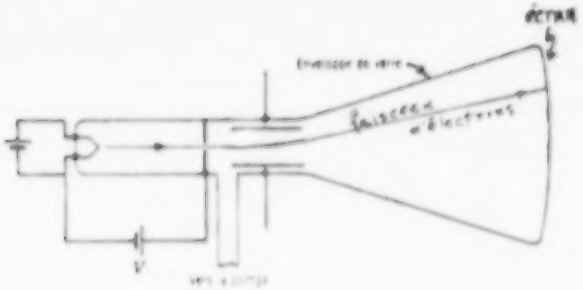
Encerclez la bonne réponse.

4 -

Quel cheval doit courir le plus vite pour garder sa position en tournant ?

1. Celui de gauche
2. Celui de droite
3. Ils doivent conserver la même vitesse

5 - Le schéma ci-dessous représente une coupe transversale du tube d'un oscilloscope. Ne vous attardez qu'à l'écran et au faisceau des électrons. L'écran rectangulaire est recouvert d'un produit phosphorescent, tout comme l'écran d'une télévision ou celui d'un micro-ordinateur . Lorsqu'il frappe l'écran, le faisceau d'électrons en fait briller une région.



Pour la situation représentée ci-dessus, illustrez ce que vous voyez si vous vous placez devant l'oscilloscope.

6. Vous avez appris que :
deux corps s'attirent avec une force directement proportionnelle au produit de leurs masses et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare.

Vous pensez au système formé par la Terre, la Lune et un vaisseau spatial. Se peut-il qu'il y ait une position entre la terre et la lune où la résultante des forces exercées sur le vaisseau soit nulle ?

Si oui, **schématisez** les trois corps, **indiquez** approximativement cet endroit et **dessinez** les forces en équilibre sur le vaisseau, tout en respectant les dimensions.

Si non, **expliquez** pourquoi cette situation serait impossible.

Encerclez la bonne réponse.

7 - Le manche à balai est un levier qui permet de commander les mouvements d'un avion : si on le pousse, l'avion descend ; si on le tire vers soi, l'avion monte.
Vous êtes aux commandes d'un F-18. Supposons que celui-ci monte à la verticale, votre dos reposant à l'horizontale et le dessus de votre tête étant orienté vers le sud. Vous poussez le manche à balai, modifiant ainsi de 90° la trajectoire de l'avion. Vers où votre regard sera-t-il naturellement dirigé après cette acrobatie ?

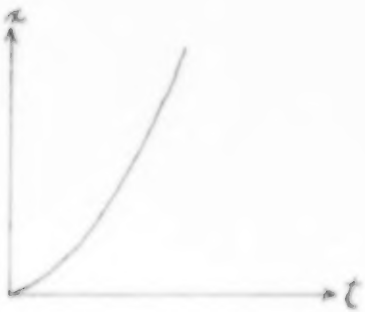
a) horizontalement vers le nord
b) horizontalement vers le sud
c) horizontalement vers l'est
d) horizontalement vers l'ouest
e) verticalement vers le bas
f) verticalement vers le haut

Encerclez la ou les bonnes réponses:

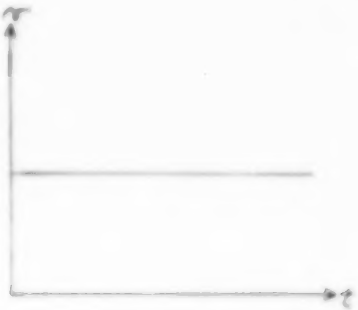
8 - Les graphiques ci-dessous illustrent soit la position x, soit la vitesse v d'un mobile en fonction du temps t.

Dans quel(s) cas y a-t-il freinage ?

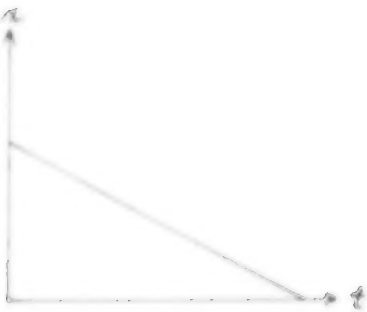
a)



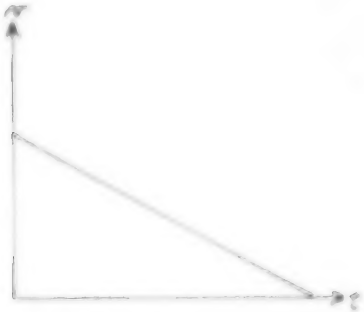
b)



c)



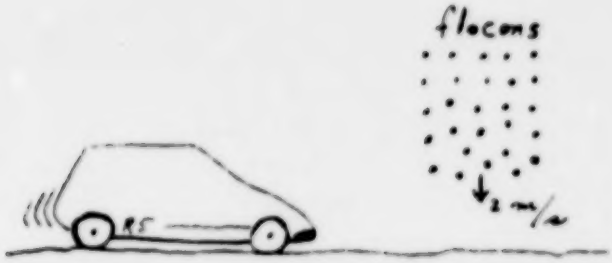
d)



e)

9- Une balle fixée à l'extrémité d'une corde décrit un cercle dans un plan horizontal. Si la corde se cassait au point P, tracez la trajectoire que suivrait la balle par la suite.

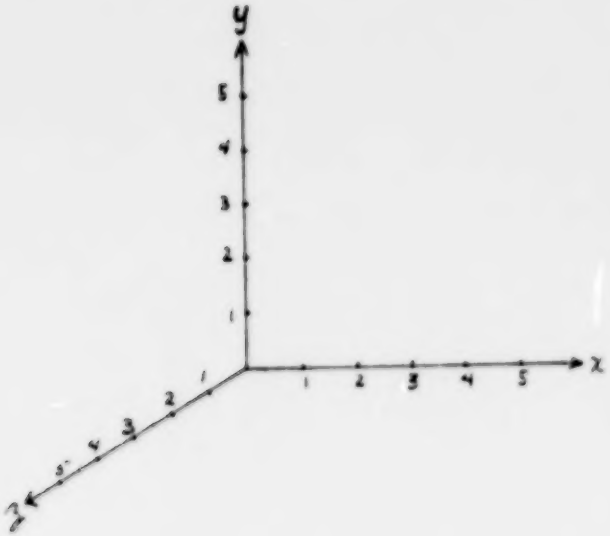
10-



Lors d'une journée calme d'hiver, de lourds flocons de neige tombent à la verticale à raison de 2 m/s. Vous conduisez votre Renault 5 à la vitesse de 10 m/s.

Selon la bonne orientation, représentez le vecteur vitesse d'un flocon vu par le conducteur.

11- Localisez le point dont les coordonnées sont : (2,4,5)



12- Vous patinez à 3 m/s sur la rivière St-Charles, tout en tirant un traîneau dans lequel votre frère se prélasse, le chanceux !
Un ami file en sens inverse à 7 m/s. Votre taquin de frère, qui l'avait vu venir, lui lance une balle de neige à 15 m/s, perpendiculairement à votre direction. La balle part à l'instant où vous et l'ami êtes côte à côte, mais séparés de 3 mètres.

a) Représentez par un schéma les 3 personnages, la balle et le traîneau.

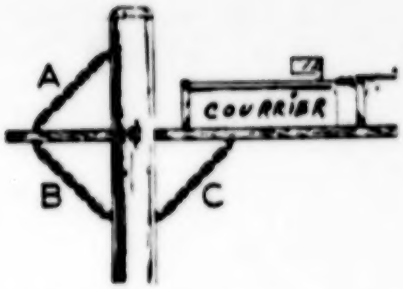
b) Sur le schéma précédent, illustrez les vitesses respectives de ces corps, telles que mesurées par un observateur sur le bord de la rivière.

c) L'ami sera-t-il atteint ? Répondez en ***encerclant l'expression*** qui convient le mieux à la situation.

1. Impossible
2. Peut-être
3. Sûrement

Encerclez la bonne réponse.

13.



Quelle chaine est nécessaire pour supporter la boite aux lettres ?

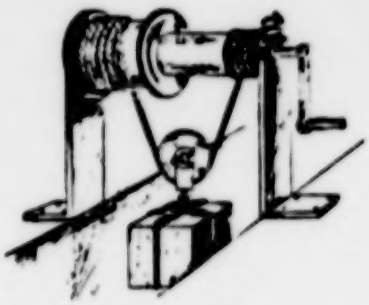
1. A
2. B
3. C

14 - Une machiniste tire une caisse sur un plancher en pente (plan incliné à environ 30°). La force que cette personne exerce est parallèle à la pente du plancher. La caisse est aussi attirée vers le centre de la terre et, simultanément, le plancher pousse cette caisse perpendiculairement aux deux surfaces en contact.

Représentez par un schéma : le plan, la caisse ainsi que les 3 forces appliquées sur cet objet. Identifiez bien chaque force.

Encerclez la bonne réponse.

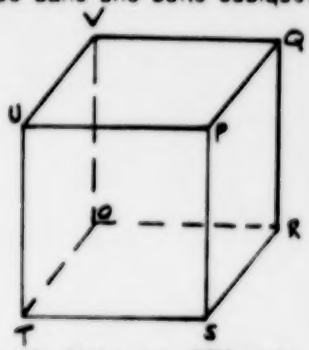
15.



Quand on tourne le treuil dans la direction indiquée, le poids

1. descend.
2. demeure immobile.
3. monte.

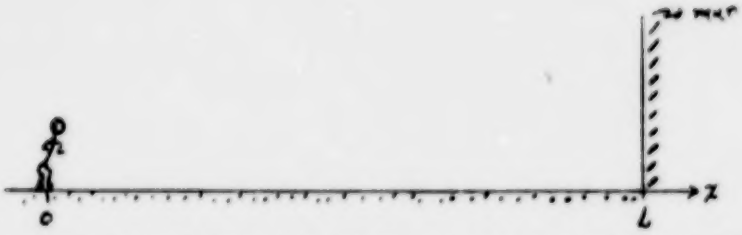
16 - Une fourmi est enfermée dans une boîte cubique.



a) Illustrez 2 chemins de longueur différente que pourrait utiliser la fourmi pour passer du point O au point P. Identifiez bien chaque trajet sur le dessin ci-dessus.

b) Une surface plane pourrait passer par deux des arêtes du cube ainsi que par les points O et P. Enumérez les 4 coins de la boîte qui appartiendraient à ce plan.

17.



Au moment où vous êtes à une distance L d'un mur, vous vous déplacez vers celui-ci. Vous franchissez la moitié de cette distance en 1 seconde ; vous continuez votre marche en parcourant, pendant la seconde suivante, la moitié de la distance qu'il reste à faire, et ainsi de suite...

Construisez le graphique de votre position en fonction du temps, du point de départ jusqu'au mur ; votre chronomètre indique 0 seconde à la position x=0.

Encerclez la bonne réponse.

18-

(Po. : Pouce)

Ces formes pleines sont constituées du même matériau.
Quelle forme pèse le plus ?

1. Celle de gauche.
2. Celle de droite.
3. Elles ont le même poids.

Encerclez la bonne réponse.

19-Vous assistez à une fête. Une magnifique pièce décorative ressemblant à un porc-épic attire votre attention : votre hôte a uniformément planté 400 tiges de bois en surface d'une demi-citrouille...

Vous décidez de vous fabriquer un bébé porc-épic. Vous disposez d'un demi-pamplemousse et de cure-dents. Le pamplemousse a un rayon deux fois moindre que la citrouille.

Pour que votre porc-épic ait la même densité de piquants que celui de votre hôte, combien de cure-dents devrez-vous insérer dans la pelure du pamplemousse ?

a) 3200
b) 1600
c) 800
d) 400
e) 200
f) 100
g) 50

20 - Ce matin, le fleuve est houleux. J'observe une bouée et les vagues qui la font osciller. Je mesure un temps de 6 secondes entre le passage d'une crête (sommet de la vague) et la suivante. Voici une coupe de la surface de l'eau et de la bouée au temps 0 seconde.

Dessinez la forme de la surface de l'eau au temps 9 secondes, tout en incluant le soleil.

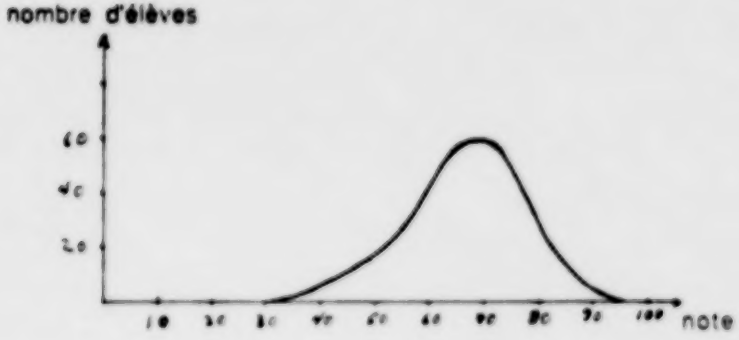
A

21 - Un proton voyage à une vitesse v et subit une force F due au champ magnétique d'un aimant. Cette force est perpendiculaire à la vitesse du proton.

a) Représentez le proton, sa vitesse ainsi que la force magnétique.

b) Sachant que cette force de grandeur constante demeure toujours perpendiculaire à la vitesse, faites une ébauche de la trajectoire (chemin suivi) du proton pendant qu'il est sous l'influence de l'aimant, sans toutefois dessiner cet aimant.

22 - La courbe ci-dessous représente les résultats en français des élèves de la Commission scolaire *Chocolat*.



Tracez la courbe des résultats de ces élèves en mathématiques, sachant que l'écart entre les plus forts et les plus faibles est moindre qu'en français, la moyenne étant la même.

23- *Règles d'un jeu de jetons:*

1- Sur le damier, tous les jetons peuvent être adjacents et peuvent se "manger" ;

2- Les jetons noirs se déplacent en diagonale à travers une ou plusieurs cases (fig. A);

3- Les jetons blancs se déplacent de trois cases selon la forme (⅂) illustrée à la figure B. Ils s'arrêtent à la troisième case.

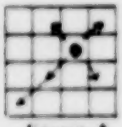


figure A

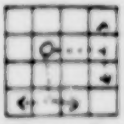
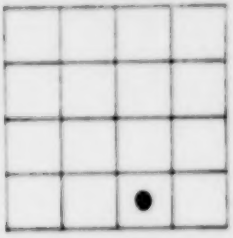


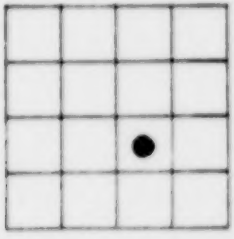
figure B

AU JEU !

a) Placez le moins de jetons blancs possible, de sorte qu'au prochain tour du jeton noir, ce dernier sera nécessairement mangé.



b) Placez le moins de jetons blancs possible, de sorte qu'au prochain tour du jeton noir, ce dernier sera nécessairement mangé.



APPENDICE 5

Mots-clés (M.-C.)

Associez les mots-clés de la colonne de gauche avec la définition correspondante dans la colonne de droite

___ A- ANALYSER	1. donner la signification, le sens précis d'une notion ou d'un mot, déterminer par une formule précise l'ensemble des caractères qui appartiennent à un concept.
___ B- COMMENTER	2. donner les caractéristiques de quelque chose.
___ C- COMPARER	3. trouver les ressemblances et différences entre deux éléments.
___ D- CRITIQUER	4. faire une liste de noms, de faits, les uns à la suite des autres.
___ E- DECRIRE	5. faire connaître, faire comprendre clairement.
___ F- DEFINIR	6. clarifier en donnant un exemple, en faisant un dessin, un graphique.
___ G- ENUMERER	7. reproduire en ses propres mots l'essentiel du contenu d'un texte, d'un phénomène.
___ H- EXPLIQUER	8. examiner un texte et en faire ressortir les qualités et les défauts.
___ I- ILLUSTRER	9. établir la véracité d'une proposition à l'aide de faits, d'arguments logiques, de démonstrations...
___ J- PROUVER	10. faire ressortir les facteurs, étudier les détails et mentionner les limites et les avantages de chaque facteur.
___ K- QUANTIFIER	11. faire des remarques et des observations personnelles, interpréter un texte à sa façon.
___ L- RESUMER	12. faire une figure simplifiée d'un objet, d'un mouvement ou d'un concept.
___ M-SCHEMATISER	13. calculer des valeurs d'une grandeur physique; attribuer une quantité à un terme.

APPENDICE 6

Mémorisation (MÉMOR.)

7. Lorsque j'étudie un examen de physique, je suis porté à apprendre par coeur les notions difficiles.

tout à fait en accord 1 2 3 4 5 6 7 tout à fait en désaccord

8. La majeure partie de la matière à étudier dans un examen de physique n'a pas à être mémorisée.

tout à fait en accord 1 2 3 4 5 6 7 tout à fait en désaccord

9. Lorsque je me prépare à un examen de physique, je mets plus de temps et d'effort à comprendre les notions qu'à les mémoriser.

tout à fait en accord 1 2 3 4 5 6 7 tout à fait en désaccord

10. Si je n'apprends pas par coeur la majeure partie de la matière, je ne réussirai pas mes examens de physique.

tout à fait en accord 1 2 3 4 5 6 7 tout à fait en désaccord

11. Généralement, dans mes cours de physique, les professeurs s'attendent à ce que j'apprenne par coeur une partie importante de la matière.

tout à fait en accord 1 2 3 4 5 6 7 tout à fait en désaccord

12. Quand j'échoue un problème dans un examen de physique, c'est généralement parce que je ne comprends pas le problème et non pas parce que ma mémoire fait défaut.

tout à fait en accord 1 2 3 4 5 6 7 tout à fait en désaccord

13. Je mémorise jusqu'à ce que je reçoive ma copie d'examen pour être certain(e) de ne rien oublier.

tout à fait en accord 1 2 3 4 5 6 7 tout à fait en désaccord

APPENDICE 7

Perception de la compétence spatiale (P.C.SP.)

MES COMPÉTENCES SPATIALES ET SCOLAIRES

Dans ce qui suit (questions 14 à 33), nous te présentons vingt (20) énoncés qui décrivent des comportements associés à 4 fonctions: l'utilisation d'outils, la compréhension scientifique, la manipulation d'objets et la facilité à dessiner. Pour chaque énoncé, tu dois évaluer jusqu'à quel point tu te sens compétent pour bien réaliser le comportement décrit. Tu encercles le chiffre qui correspond le mieux au degré de compétence que tu crois avoir face à ces comportements.

1	2	3	4	5
pas du tout compétent	un peu compétent	moyennement compétent	assez compétent	très compétent

Par exemple, si tu encercles le chiffre 2 à l'énoncé

Faire de la natation,

c'est que tu évalues être un peu compétent en natation.

Réponds spontanément et honnêtement.

14. Construire quelque chose à l'aide d'outils tels que: scie, marteau, tournevis, etc.

    1 2 3 4 5

15. Réussir un cours d'introduction à la physique.

    1 2 3 4 5

16. Agencer des objets de manière fonctionnelle et harmonieuse.

    1 2 3 4 5

17. Faire le croquis d'une pièce.

    1 2 3 4 5

18. Effectuer des réparations mineures dans ta résidence familiale.

    1 2 3 4 5

19. En chimie, réussir une expérience de laboratoire.

    1 2 3 4 5

1	2	3	4	5
pas du tout compétent	un peu compétent	moyennement compétent	assez compétent	très compétent

20. Placer des bagages dans un coffre d'auto de manière à ce qu'il y ait le moins de perte d'espace possible.

1 2 3 4 5

21. Schématiser des figures géométriques.

1 2 3 4 5

22. Assembler un objet (bicyclette, meuble, etc.) à partir du manuel d'instructions.

1 2 3 4 5

23. Comprendre les graphiques et les tableaux illustrés dans les manuels scolaires.

1 2 3 4 5

24. Estimer avec précision le nombre d'objets que l'on peut déposer dans un contenant.

1 2 3 4 5

25. Dessiner des objets simples en illustrant leur profondeur.

1 2 3 4 5

26. Construire des modèles en suivant des plans.

1 2 3 4 5

27. Utiliser les mathématiques pour résoudre des problèmes pratiques.

1 2 3 4 5

28. Aménager ta chambre de façon pratique.

1 2 3 4 5

29. Réussir un cours d'introduction au dessin mécanique.

1 2 3 4 5

1	2	3	4	5
pas du tout compétent	**un peu compétent**	**moyennement compétent**	**assez compétent**	**très compétent**

30. Travailler habilement avec des outils.

1 2 3 4 5

31. Utiliser des instruments tels que: règle, compas, rapporteur d'angles, équerres, etc.

1 2 3 4 5

32. Disposer des objets avec goût.

1 2 3 4 5

33. Faire des croquis et dessiner des objets.

1 2 3 4 5

Cette recherche a été effectuée grâce à une subvention
du Programme d'aide à la recherche sur l'enseignement et l'apprentissage
du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science